Alexandre Koyré

Estudios galileanos



En los años recientes, la filosofía de la ciencia ha sufrido una auténtica revolución bajo el impacto de la obra de Thomas S. Kuhn, y en general de una nueva historiografía científica que hace hincapié en el carácter discontinuo del desarrollo científico, concebido ahora como una sucesión de marcos conceptuales inconmensurables, aunque dotados de una organización interna racional.

Pero la revolución de Kuhn no puede entenderse sino como fruto de la tradición inaugurada por Alexandre Koyré, fundador de la actual historiografía de la ciencia y el primero en aplicar concienzuda y críticamente los testimonios históricos a la construcción de una imagen coherente y comprensible del pensamiento de las épocas pasadas, recurriendo a los elementos de juicio entonces al alcance de la mano, los presupuestos metodológicos y los marcos conceptuales filosóficos generales.

Así, en vez de presentarnos el desarrollo de la ciencia como la historia de un conjunto de leyes y procedimientos que crece acumulativamente hasta alcanzar el estado del corpus científico actual, Koyré nos plantea la necesidad de comprender cada una de las etapas de la ciencia como una estructura organizada, dotada de una máxima racionalidad interna que es preciso descubrir renunciando a los prejuicios de los conocimientos actuales y atendiendo a los condicionamientos contextuales de cada teoría.

Estudios galileanos es la contribución fundamental de Koyré al estudio de la revolución realizada por Galileo en la mecánica, y constituye el punto de partida indispensable para la comprensión de su obra y de las decisivas repercusiones que tendría sobre el pensamiento científico y filosófico del siglo XVII.

El autor, nacido en Rusia y emigrado antes de la revolución, fue profesor de la Ecole Pratique des Hautes Etudes de París. Siglo XXI ha publicado también sus obras **Estudios de historia del pensamiento científico** y **Del mundo cerrado al universo infinito.**



Traducción de
MARIANO GONZÁLEZ AMBÓU

ESTUDIOS GALILEANOS

por

ALEXANDRE KOYRÉ





siglo veintiuno editores, sa
CERRO DEL AGUA 248, MEXICO 20, D.F.

siglo veintiuno de españa editores, sa
C/PLAZA 5, MADRID 33, ESPAÑA

siglo veintiuno argentina editores, sa

siglo veintiuno de colombia, ltda
AV. 3a. 17-73 PRIMER PISO. BOGOTA, D.E. COLOMBIA

Primera edición en español, octubre de 1980

Primera edición en francés, 1966
Título original: *Études galiléennes*

Impreso y hecho en España
Printed and made in Spain

Diseño de la cubierta: El Cubri

ISBN: 84-323-0388-7
Depósito legal: M. 34.662-1980
Impreso en Closas-Orcoyen, S. L.
Martínez Paje, 5. Madrid-29

INDICE

1. EN LOS ALBORES DE LA CIENCIA CLASICA

Veniet tempus quo posteri nostri tam aperta nos nescisse mirentur.

(SÉNECA, *Nat. Quaes,* VII.25.2)

INTRODUCCION

Afortunadamente, hoy ya no es necesario insistir en el interés que ofrece el estudio histórico de la ciencia, ni tampoco es necesario —luego de las magistrales obras de un Duhem, un Emile Meyerson, y las de Cassirer y Brunschvicg— insistir en el interés y ricos conocimientos que aporta este estudio desde el punto de vista *filosófico*[1]. En efecto, el análisis de la evolución (y de las revoluciones) de las ideas científicas —única historia que (junto con la de la técnica) da un sentido al concepto de progreso, tan ensalzado como detractado— nos pone de manifiesto las contiendas libradas por la mente humana con la realidad; nos revela sus derrotas, sus victorias; muestra qué esfuerzo sobrehumano le ha costado cada paso en el camino de la comprensión de lo real, esfuerzo que condujo, en ocasiones, a una verdadera «mutación» en el intelecto humano[2]: transformación merced a la cual algunas nociones laboriosamente «inventadas» por los más grandes genios llegan a ser no sólo accesibles, sino incluso fáciles y evidentes para los escolares.

Una de estas mutaciones —una de las más importantes si no la más importante desde la invención del Cosmos por el pensamiento griego— fue sin duda la revolución científica del siglo XVII, profunda transformación intelectual de la que la física

[1] Véase también el bello opúsculo de Federigo Enriques, *Signification de l'histoire de la pensée scientifique,* París, Hermann, 1934.

[2] Tomamos de G. Bachelard el concepto y el término de mutación intelectual (véase *Nouvel Esprit scientifique,* París, 1934). Asimismo, cf. G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique,* París, 1938 (*La formación del espíritu científico,* Buenos Aires, Siglo XXI, 1972).

moderna, o más exactamente clásica [3], fue a la vez expresión y fruto.

En ocasiones se ha querido caracterizar y explicar esta transformación como resultado de una especie de inversión de toda la actitud espiritual: en lo sucesivo la vida contemplativa cede el paso a la vida activa; el hombre moderno busca el dominio de la naturaleza, en tanto que el medieval, o el antiguo, perseguía únicamente su contemplación. El mecanicismo de la física clásica —galileana, cartesiana, hobbesiana, ciencia activa, operativa, que debe hacer del hombre «el dueño y señor de la naturaleza»— se explicaría, entonces, por ese deseo de dominación, de acción; sería una simple transposición de esta actitud, una aplicación a la naturaleza de las categorías del pensamiento del *homo faber* [4]; la ciencia cartesiana —y *a fortiori*, la de Galileo— sería, como se ha dicho, «una ciencia de ingeniero» [5]. Esta concepción, sin duda correcta en general, e incluso algunas veces en particularidades (basta pensar en la inversión de valor, y de *status* ontológico, entre contemplación y acción que se efectúa en la filosofía moderna; basta pensar en ciertas explicaciones, o imágenes, de la física cartesiana, con sus poleas, cuerdas y palancas), nos parece presentar todos los defectos de una explicación global. Además, no toma en cuenta el esfuerzo tecnológico de la Edad Media, la actitud espiritual de la alquimia. En fin, la actitud activista que describe es la de Bacon (cuyo papel en la historia de la revolución científica ha sido perfectamente despreciable) [6], y no la de Descartes, ni la de Galileo, y el mecanicismo de la física clásica, lejos de ser una concepción de artesano [7], o de ingeniero, es justamente la negación de ésta [8].

[3] Al considerar la revolución científica de nuestro siglo parece preferible reservar para ella el calificativo de «moderna», designando a la física precuántica como «clásica».

[4] Esta concepción, bastante extendida, no debe confundirse con la de Bergson, para el cual toda física —tanto la de Aristóteles como la de Newton— es, en última instancia, obra del *homo faber*.

[5] Véase Laberthonnière, *Etudes sur Descartes*, vol. II, París, 1935, pp. 288-289, 297, 304: «física de la explotación de las cosas».

[6] Lo de «Bacon, iniciador de la ciencia moderna» es una broma, de muy mal gusto, que todavía repiten los manuales. En realidad, Bacon no comprendió nunca nada de la ciencia. Es crédulo y se halla totalmente desprovisto de espíritu crítico. Su mentalidad está más próxima a la alquimia, a la magia (cree en las «simpatías»), en pocas palabras, a la de un primitivo o un hombre del Renacimiento, que a la de un Galileo o incluso a la de un escolástico.

[7] Sin duda la ciencia cartesiana y galileana benefició al ingeniero y fue utilizada por la técnica con el éxito de todos conocido. Pero no fue creada ni *por* los técnicos ni *para* la técnica.

[8] «Descartes artesano»: tal es la concepción del cartesianismo desarro-

También se ha hablado frecuentemente del papel de la experiencia, del surgimiento de un «sentido experimental»[9]. Y, sin duda, el carácter experimental de la ciencia clásica constituye uno de sus rasgos más característicos. Pero, en realidad, se trata de un equívoco: la experiencia, en el sentido de experiencia simple, de observación del sentido común, no ha desempeñado ningún papel que no haya sido el de dificultar el nacimiento de la ciencia clásica; y la física de los nominalistas parisienses —e incluso la de Aristóteles— estaba, a menudo, bastante más próxima a ella que la de Galileo[10]. En cuanto a la experimentación —interrogación metódica de la naturaleza—, ésta presupone tanto el lenguaje en el que se formulan sus preguntas como el vocabulario que permite interpretar las respuestas. Ahora bien, si es en un lenguaje matemático, o, más exactamente, geométrico, en el que la ciencia clásica interroga a la naturaleza, este lenguaje, o mejor dicho, la decisión de emplearlo —decisión que corresponde a un cambio de actitud metafísica—[11] no podía, a su vez, ser dictada por la experiencia que iba a condicionar.

llada por M. Leroy en su *Descartes social*, París, 1931, y llevada hasta el absurdo por F. Borkenau en su obra *Der Uebergang vom feudalen zum bürgerlichen Weltbild*, París, 1933. Borkenau explica la formación de la filosofía y de la ciencia cartesianas por la aparición de una nueva forma de producción, a saber, la manufactura; cf. la crítica al trabajo de Borkenau, mucho más instructiva que ese propio trabajo, por H. Grossmann: «Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufactur», en *Zeitschrift für Sozialforschung*, París, 1935.

En cuanto a Galileo, L. Olschki lo liga a la tradición de los artesanos, constructores e ingenieros del Renacimiento: *Galilei und seine Zeit* (Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur, vol, III), Halle, 1927. Ahora bien, si es verdad que los ingenieros y artistas del Renacimiento hicieron mucho por romper el yugo del aristotelismo, y que incluso a veces se esforzaron —como Leonardo da Vinci y Benedetti— por desarrollar una nueva dinámica, antiaristotélica, esta dinámica, como ha demostrado Duhem, fue en sus líneas maestras la de los nominalistas parisienses. Y si Benedetti —con mucho el más notable de los predecesores de Galileo— supera en ocasiones el nivel de la dinámica «parisiense», no es gracias a sus trabajos de ingeniero o artillero: es gracias a su estudio de Arquímedes.

[9] Incluso se ha opuesto con frecuencia el experimentador Galileo al teórico Descartes. Y sin razón, como se verá más adelante. Cf. nuestra ponencia en el IX Congreso Internacional de Filosofía, *Galilée et Descartes*, véase *Travaux*, vol. II, pp. 41 ss., París, 1937.

[10] Así, jamás observó nadie el movimiento inercial, por la sencilla razón de que sólo es posible en condiciones irrealizables. Ya Emile Meyerson hizo notar lo poco que las experiencias concuerdan con los principios de la física clásica (véase *Identité et realité*, 3.ª edic., París, 1926, p. 156). [*Identidad y realidad*, Madrid, Editorial Reus, 1929.]

[11] Corresponde a una renovación de la primacía del ser sobre el devenir.

Por otra parte se ha tratado, más modestamente, de caracterizar a la física clásica, en cuanto *física*, por algunos de sus rasgos más notables. Así, se ha insistido en el papel que desempeñan en la física galileana las nociones conexas de velocidad y fuerza [12], de «momento», interpretándolas como si expresaran una intuición muy profunda, la intuición de la *intensidad* de los procesos físicos e incluso su intensidad en un instante [13]. Esta característica, muy cierta sin duda —pensemos simplemente en el instantaneísmo de la física cartesiana [14], en la noción de elemento o momento de velocidad, es decir, de velocidad instantánea—, se aplica sin embargo mucho mejor a la física newtoniana, basada en la noción de fuerza, que a la física de Descartes o de Galileo, que tienden a evitarla. Y aún mejor a la física «parisiense» de los Buridan o de los Nicolás de Oresme. La física clásica es, ciertamente, una dinámica. Sin embargo, no es así como nace en un principio, pues aparece ante todo como una cinemática [15].

También se ha tratado de caracterizar a la física clásica por el papel que en ella desempeña el principio de inercia [16]. Esta característica, cierta sin duda alguna —pensemos, simplemente, en la función fundamental de la noción de inercia en toda la ciencia clásica, en el hecho de que, desconocida por los antiguos, este principio sirve implícitamente de base a la física galileana y sostiene expresamente a la de Descartes—, nos parece un tanto superficial, pues no basta con afirmar el hecho, sino que habría que explicar por qué la física moderna pudo adoptar el principio de inercia, es decir, explicar por qué y cómo esta no-

---

[12] Véase, sobre todo, E. Dühring, *Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik*, Berlín, 1875, pp. 24 ss.

[13] Véase Kurd Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, Hamburgo y Leipzig, 1890, vol. II, pp. 23 ss.

[14] Véase J. Wahl, *Le rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, París, 1920.

[15] La famosa deducción de la ley de la caída de los cuerpos por Galileo (véase *Opere*, Ed. Nazionale, vol. II, pp. 261 ss.; y *Discorsi*, *Opere*, volumen VIII, p. 222) consiste, efectivamente, en una búsqueda, puramente cinemática, de la forma más simple del movimiento acelerado, y no emplea ni la noción de fuerza ni la de masa ni la de atracción; véase el cap. 2, «La ley de la caída de los cuerpos», pp. 77, 78, 137.

[16] Véase E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, Berlín, 1911, vol. I, pp. 394 ss. (*El problema del conocimiento de la filosofía y en la ciencia modernas*, I, México, FCE. 1953); pero antes, Lasswitz, *op. cit.*; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig, 1921, pp. 117 ss.; E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vols. XIV y XV.

ción, que a nosotros nos parece dotada de una evidencia superior, pudo adquirir ese *status* de evidencia *apriorística*, mientras que para los griegos y los pensadores de la Edad Media se presentaba, por lo contrario, afectada por una absurdidad evidente e irremediable [17].

Por ello pensamos que la actitud intelectual de la ciencia clásica podría estar caracterizada por esos dos momentos, por lo demás íntimamente ligados: la geometrización del espacio y la disolución del Cosmos, es decir, la desaparición, en el interior del razonamiento científico, de toda consideración a partir del Cosmos [18]; la sustitución del espacio concreto de la física pregalileana por el espacio abstracto de la geometría euclidiana. Esta sustitución es la que permite la invención de la ley de la inercia.

Ya dijimos que esta actitud intelectual parece haber sido fruto de una mutación decisiva: es lo que explica por qué el descubrimiento de cosas que hoy nos parecen infantiles costó largos esfuerzos —no siempre coronados por el éxito— a los más grandes genios de la humanidad, a un Galileo, a un Descartes. De lo que se trataba no era de combatir unas teorías erróneas, o insuficientes, sino de transformar el marco de la misma inteligencia; de trastocar una actitud intelectual, en resumidas cuentas muy natural [19], sustituyéndola por otra, que no lo era en absoluto. Y eso explica por qué —a pesar de las apariencias contrarias, apariencias de continuidad histórica sobre

---

[17] Punto sobre el cual E. Meyerson (véase *Identité et realité*, 3.ª edic., pp. 124 ss.) ha llamado muy justamente la atención.

[18] No hay nada más curioso que confrontar a este respecto a Galileo con Kepler. Kepler es aún un cosmólogo. Galileo ya no lo es (véase *Dissèrtatio cum Nuntio sidereo*, en *Opere*, de Galileo, vol. III, pp. 97 ss.; cf. nuestro «Rapport» en *Annuaire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, 1934.

[19] P. Duhem, *Le système du monde*, I, pp. 194-95: «Ciertamente, esta dinámica parece adaptarse tan felizmente a las observaciones habituales que no podía dejar ante todo de ser aceptada por los primeros que especularan sobre las fuerzas y los movimientos... Para que los físicos lleguen a rechazar la dinámica de Aristóteles y a construir la dinámica moderna, les será preciso comprender que los hechos de los que son a diario testigos no son en modo alguno, los hechos simples, elementales, a los que deben inmediatamente aplicarse las leyes fundamentales de la dinámica; que la marcha de un navío a la sirga, que la circulación por un camino de un carruaje de tiro deben ser considerados movimientos de extrema complejidad; en una palabra, que para formular el principio de la ciencia del movimiento, se debe, por abstracción, considerar un móvil que bajo la acción de una fuerza única se mueve en el vacío. Ahora bien, en su dinámica, Aristóteles llega a la conclusión de que tal movimiento es inconcebible.»

las que han insistido sobre todo Caverni[20] y Duhem[21]— la física clásica, surgida del pensamiento de Bruno, de Galileo, de Descartes, no continúa, de hecho, la física medieval de los «precursores parisienses de Galileo»; se sitúa, de entrada, en un plano diferente, en un plano que nos gustaría llamar arquimediano. En efecto, el precursor y maestro de la física clásica no es Buridan o Nicolás de Oresme, sino Arquímedes[22].

La historia del pensamiento científico (físico) de la Edad Media y del Renacimiento —que comenzamos a conocer mejor gracias a los admirables trabajos de Duhem— se puede dividir en tres períodos. O más exactamente, ya que el orden cronológico no corresponde bien a esta división, diremos que la historia del pensamiento científico presenta, *grosso modo*, tres etapas que atañen, a su vez, a tres tipos de pensamiento. Primero, física aristotélica; a continuación, física del *impetus*, inaugurada, como todo, por los griegos, pero elaborada fundamentalmente en el siglo XIV por la escuela parisiense de Buridan y Nicolás de Oresme[23]; finalmente, física matemática, experimental, arquimediana o galileana.

Ahora bien, justamente son estas tres etapas las que encontramos en las obras de juventud de Galileo, que no se limitan a darnos algunas indicaciones sobre la historia —o la prehistoria— de su pensamiento, sobre los motivos y móviles que lo dominaron e impulsaron, sino que nos presentan, en una sorprendente síntesis, condensada y en cierta forma clarificada por la mente admirable de su autor, toda la historia de la evolución de la física pregalileana. Por ello, su atento estudio ofrece a la historia del pensamiento científico un interés que no se puede exagerar[24].

---

[20] Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, 5 vols., Florencia, 1891-1896 (véanse, sobre todo, vols. III y IV).

[21] P. Duhem, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, París, 1905. *De l'accélération produite par une force constante*, Congreso Internacional de Historia de las Ciencias, tercera sesión, Ginebra, 1906; *Etudes sur Léonard de Vinci. Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, vol. III. *Les précurseurs parisiens de Galilée*, París, 1913.

[22] A nuestro parecer, se podría resumir el trabajo científico del siglo XVI en la admisión y comprensión gradual de la obra de Arquímedes. Para la historia del pensamiento científico, la concepción popular del «Renacimiento» resulta ser profundamente cierta.

[23] Véase P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, 3 vols., París, 1909-1913; E. J. Dijksterhuis, *Val en Worp*, Groninga, 1924, y Ernst Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* («Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters», vol. XXX, 1/3), Münster, 1934.

[24] A veces se ha dicho (cf. E. Mach, *op. cit.*, pp. 188 ss., y E. Wohlwill,

I. ARISTOTELES

La etapa aristotélica primeramente. Los *Juvenilia* de Galileo[25] nos ofrecen, justamente, un largo fragmento de un curso de física o, mejor dicho, de cosmología, poco más o menos como se enseñaba en el siglo XVI en la mayoría de las universidades europeas. Desgraciadamente, el fragmento está incompleto, y contiene sólo un comentario parcial del *De Coelo*. Pero se puede completar con ayuda del *De motu*, de F. Bonamico[26], profesor de filosofía en Pisa en la misma época en que cursaba sus estudios Galileo, quien seguramente asistió a sus clases. Mas, en rigor, es posible renunciar a recurrir a la enorme recopilación de Bonamico: por incompleto que sea, el fragmento de Galileo nos ofrece una exposición muy clara —notablemente clara— de los principios de la cosmofísica aristotélica, tal como se comprendía, al menos, en la Edad Media.

Esta cosmofísica es demasiado conocida para que tengamos necesidad de exponerla aquí, ni siquiera siguiendo a Galileo. No obstante debemos recordar sus principios y fundamentos. De paso, quisiéramos igualmente reaccionar contra un cierto menosprecio o incomprensión hacia la obra aristotélica que se muestra hoy con demasiada frecuencia.

La física aristotélica es falsa, lo sabemos perfectamente. Está irremediablemente superada[27]. Pero, sin embargo, es una física,

---

Galilee und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre, Hamburgo y Leizpzig, 1909, vol. I, p. 115) que Galileo, en sus obras de juventud, y especialmente en el *De motu* compuesto en Pisa, no hizo sino seguir las enseñanzas de G. B. Benedetti (cf. su *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, 1585), sin, por lo demás, nombrarlo. Este juicio, como veremos más adelante, no es del todo justo: aun siguiendo a Benedetti (lo que por otro lado se explica por cuanto que el pensamiento de Benedetti, al igual que el del joven Galileo, presenta una curiosa mezcla de «empirismo» parisiense y matematismo arquimediano), en ocasiones se aleja de él, y cuando lo hace siempre tiene razón. Queremos decir con ello que en esos casos se muestra más profundamente «empirista» y más profundamente «arquimediano» que Benedetti. Eso es lo que hace tan instructivo el estudio de Galileo.

[25] Publicados en el volumen I de la admirable Edizione Nazionale de las *Opere* de Galileo.

[26] Francisci Bonamici Florentini, e primo loco philosophiam ordinariam in Almo Gymnasio Pisano profitentis, *De motu, libri X, quibus generalia naturalis philosophiae principia summo studio collecta continentur*... Florentiae, apud Bartholomeum Sermartelium, MDCXI. Por lo general, los biógrafos de Galileo hacen referencia a la obra de Bonamico. Sin embargo, parece que ninguno de ellos, ni siquiera Favaro o Wohlwill, han tenido el valor de abrir el enorme volumen (1 011 páginas *in folio*).

[27] A este respecto es muy significativo el fracaso de Duhem, el único que ha intentado seriamente resucitarla.

es decir, una teoría altamente, aunque no matemáticamente, elaborada [28]. No es ni una prolongación simple y verbal del sentido común, ni una fantasía infantil, sino una teoría, o sea una doctrina que partiendo, claro es, de los datos del sentido común los somete a una elaboración sistemática en extremo coherente y severa.

Los hechos del sentido común que sirven de base a la elaboración aristotélica son muy simples, y nosotros también los admitimos. A todos nos parece muy «natural» que un cuerpo pesado caiga a tierra [29]. Y, al igual que el mismo Aristóteles, o que santo Tomás, quedaríamos sorprendidos si viéramos a un cuerpo pesado —una piedra o un buey— elevarse libremente por el aire. Esto nos parecería poco «natural» y buscaríamos la explicación del fenómeno en la acción de algún mecanismo oculto.

También encontramos muy «natural» ver que la llama de un fósforo apunta hacia «arriba», y poner las cacerolas «sobre» el fuego. Quedaríamos muy sorprendidos —y buscaríamos una explicación— si viéramos, por ejemplo, a la llama invertirse hacia «abajo». Razonamiento simplista, infantil, se dirá. Y la ciencia sólo comienza cuando se busca la explicación de lo que parece «natural». Sin duda. Pero cuando la termodinámica plantea, a modo de principio, que el calor no pasa de un cuerpo frío a uno caliente, ¿qué hace sino reflejar una intuición del sentido común, según la cual un cuerpo caliente se enfría «naturalmente», mientras que un cuerpo frío «naturalmente» no se calienta? Del mismo modo, cuando decimos que el centro de gravedad de un sistema tiende a tomar la posición más baja y no sube por sí solo, ¿no es esto, de nuevo, una transposición de la intuición fundamental del sentido común, intuición que la física aristotélica traduce por medio de la distinción de los movimientos en *naturales* y *violentos?* [30].

La física aristotélica no se limita a expresar, en su lenguaje, el hecho del sentido común que acabamos de evocar: lo refleja, y la distinción de los movimientos en «naturales» y «violentos»

[28] La física aristotélica es esencialmente no matemática, y no es posible matematizarla (presentándola, por ejemplo, como fundada en el principio de que la velocidad es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la resistencia, proporcionalidad que no es sino la *continuación* de los principios aristotélicos) sin falsear su espíritu.

[29] Desde hace mucho tiempo se ha subrayado que jamás existió un dios de la gravedad.

[30] Véase E. Mach, *Mechanik*, pp. 124 ss.

se enmarca en una concepción general de la realidad física [31], concepción cuyas piezas maestras parecen ser: *a)* la creencia en la existencia de «naturalezas» bien determinadas, y *b)* la creencia en la existencia de un Cosmos [32], es decir, la creencia en la existencia de principios de orden en virtud de los cuales el conjunto de los entes reales forma un todo (naturalmente) bien ordenado.

El Todo, el orden cósmico: estos conceptos implican que en el Universo las cosas están (o deben estar) distribuidas o dispuestas de una forma bien determinada; que el estar aquí o allá no les es indiferente sino que, por el contrario, cada cosa posee, en el Universo, un lugar propio, conforme a su naturaleza [33]. Un lugar para cada cosa, y cada cosa en su lugar; el concepto de «lugar natural» traduce esta exigencia teórica de la física aristotélica [34].

La noción de «lugar natural» traduce una concepción del orden puramente estática. Ciertamente, si todo estuviese «en orden», todas las cosas reposarían en su lugar natural, allí quedarían y de allí no se moverían [35].

Pues, ¿por qué habrían de irse? Por el contrario, opondrían resistencia a todo lo que quisiera echarlas de allí —cosa que sólo la *violencia* podría lograr— y tratarían de regresar allí cuando, debido a esta *violencia*, no se encontraran en «su» lugar.

Así, todo movimiento implica un desorden cósmico, una ruptura del equilibrio, ya sea efecto directo de tal ruptura, causada por la aplicación de una fuerza exterior (violencia), o, por el contrario, efecto del esfuerzo compensador del ser para recuperar su equilibrio perdido y violado, para llevar a las cosas a su lugar natural, conveniente, donde podrían reposar y descansar. Este retorno al orden es, justamente, lo que constituye aquello que hemos llamado movimiento natural [36].

---

[31] Se puede incluso decir que la grandeza de Aristóteles consiste, precisamente, en querer *explicar* los hechos «naturales».

[32] Es curioso comprobar que los términos Cosmos, Universo —en el sentido de totalidad—, etc., que durante el período clásico de la física habían perdido todo significado, parecen haber recibido uno nuevo a partir de Einstein.

[33] Solamente en «su lugar» se perfecciona y se realiza un ser, y por esa razón tiende a llegar a él.

[34] El concepto de «lugar natural» implica la finitud del movimiento y, por ende, la finitud del Universo. O, si se prefiere, el concepto de lugar natural traduce la concepción de un Universo limitado.

[35] El movimiento natural hacia arriba *prueba* la finitud del universo. Véase *infra*, pp. 64-65, la crítica de Galileo.

[36] Puesto que el orden geométrico en el interior del universo esférico corresponde al orden cualitativo (grave-leve), es evidente que los movi-

Ruptura de equilibrio, retorno al orden: se comprende que el orden forme un estado estable y que tienda a prolongarse indefinidamente. No es necesario, pues, explicar el reposo, al menos el reposo natural de un cuerpo en su lugar propio; es su naturaleza misma lo que lo explica, como explica, por ejemplo, el reposo de la tierra en el centro del mundo. Se comprende, asimismo, que el movimiento sea necesariamente un estado pasajero; el movimiento natural se detiene naturalmente cuando ha alcanzado su meta; y en cuanto al movimiento violento, Aristóteles es demasiado optimista para poder admitir que este estado anormal pueda perdurar; por otra parte, al ser el movimiento violento desorden que crea desorden, admitir que pueda prolongarse indefinidamente sería abandonar, de hecho, la idea misma de Cosmos. Por ello se atiene a la fórmula tranquilizadora: nada de lo que es *contra naturam potest esse perpetuum.*

El movimiento, en la física aristotélica, es pues, como hemos dicho, un estado esencialmente pasajero. Tomada al pie de la letra, esta afirmación es doblemente inexacta. En efecto, aunque el movimiento es *para cada uno de los móviles,* o al menos para los móviles «sublunares», los cuerpos de nuestra experiencia sensible, un estado esencialmente pasajero y finito, no deja de ser, para el conjunto del mundo, un fenómeno necesariamente eterno [37]. Y, por esto mismo, eternamente necesario. Fenómeno que sólo se puede explicar descubriendo su fuente en la estructura misma del Cosmos, o sea, proponiendo como causa de los movimientos pasajeros y variables de los seres sublunares un movimiento perpetuo, uniforme y por consiguiente «natural» de las esferas y de las órbitas celestes [38]. Por otra parte,

---

mientos violentos o naturales consisten en un alejamiento o en una aproximación del cuerpo dado a su lugar propio, y también es evidente que estos dos movimientos son incompatibles. Cf. Galileo, *Juvenilia, Opere,* I, pp. 61 ss.

[37] Al no poder producirse el movimiento sino por otro movimiento, todo movimiento actual implica una serie infinita de causas anteriores.

[38] El movimiento circular es el único movimiento uniforme que puede perdurar indefinidamente en un universo finito; es también el único que —si lo atribuimos a la esfera en su conjunto— no cambia nada; por ello es el más cercano a un estado natural. Los adversarios de Aristóteles se esforzarán, por lo tanto, ya sea en demostrar el carácter natural del movimiento circular en general, para todos los cuerpos y no sólo para los cuerpos celestes, lo que lleva finalmente a la dinámica de Copérnico, ya sea, como Galileo —interpretando mal a Aristóteles—, en demostrar que el movimiento circular «alrededor del centro», no es ni violento ni natural, puesto que «en el movimiento circular los cuerpos ni se alejan ni se aproximan al centro». Cf. *infra,* p. 69, n. 155.

el movimiento no es un estado propiamente dicho: es un proceso, un devenir en el cual y mediante el cual se constituyen, se actualizan, se realizan los seres [39]. Sin duda el devenir tiene como meta y fin al ser; y el movimiento tiene como término el reposo. Pero este reposo inmutable del ser plenamente realizado es muy diferente de la inmovilidad pesante e impotente de un ser incapaz de moverse; el primero es acto, el segundo no es sino privación. Por ello el movimiento —proceso, devenir, cambio— se encuentra ontológicamente situado entre los dos. El es el ser de todo lo que cambia, que sólo *es* cambiando y modificándose [40]. La célebre definición aristotélica del movimiento —acto del ser en potencia en cuanto está en potencia— (definición que Descartes encontrará perfectamente incomprensible), expresa admirablemente el hecho de que el movimiento es el ser —el acto— [41] de lo que no es Dios.

Así, moverse es cambiar, *aliud et aliud se habere*, comportarse (o ser) de otro modo y de otro modo. Lo que, por un lado, implica un término de relación con respecto al cual el móvil se comporta de otro modo y de otro modo [42]: esto significa, si se trata de un movimiento local, un punto fijo respecto al cual se mueve el móvil, un centro absoluto de coordenadas, el centro del Universo. Lo que, por otro lado, implica —puesto que todo cambio, todo proceso, tiene necesidad de una causa que lo explique— que todo movimiento precisa de un motor que lo cause y —si perdura— lo mantenga. Es cierto que el movi-

---

[39] El movimiento es, pues, algo que afecta al móvil y se realiza en él. Por ello es comprensible que un móvil no pueda tener sino un solo movimiento natural y que si le afectaran dos movimientos diferentes —natural y violento—, estos movimientos se obstaculizarían mutuamente.

[40] Con mucha frecuencia se afirma que la física aristotélica está dominada por las categorías biológicas. Esta interpretación, correcta sin duda —la concepción del movimiento puede ser comprendida como algo que traduce la situación intermedia que la vida ocupa entre la inmutabilidad del espíritu y la inmovilidad de la muerte—, pasa a nuestro parecer por alto el hecho de que la distinción entre estado y proceso (ser y devenir) es absolutamente general y no queda limitada al ser viviente.

[41] En las discusiones medievales —sumamente complejas— sobre la naturaleza del movimiento, éste es habitualmente considerado como una forma de tipo especial: *forma fluens*. Cf. las obras citadas de Duhem, Dijksterhuis, et Borchert y S. Moser, *Grundbegriffe der Naturphilosophie bei Wilhelm von Occham* (Philosophie und Grenzwissenschaften, vol. 4, números 2-3), Innsbruck, 1932.

[42] El movimiento local es siempre, pues, relativo y a la vez absoluto. Relativo porque necesariamente implica un término de comparación y no puede ser concebido «en sí», en relación a nada, como el movimiento absoluto de Newton; absoluto, porque los «lugares» entre los que se produce el movimiento forman un sistema absoluto, que posee un término esencialmente inmóvil.

miento no perdura por sí solo, como el reposo. El reposo —estado o privación— no tiene necesidad de causa que explique su persistencia. El movimiento —proceso, actualidad, e incluso actualización continua— no puede pasarse sin ella. Suprimid esa causa y el movimiento cesará; *cessante causa cessat effectus*[43].

Si se trata de movimiento «natural», esa causa, ese motor, es la naturaleza misma del cuerpo, su forma, que trata de llevarlo de nuevo a su lugar; ella es quien mantiene el movimiento. Por el contrario, un movimiento no natural exige, en toda su duración, la acción *continua* de un motor *exterior* junto con el móvil. Suprimid el motor y el movimiento cesará. Separad el motor del móvil y el movimiento cesará igualmente. En efecto, Aristóteles no admite la acción a distancia[44]: toda transmisión de movimiento implica —según él— un contacto; además no reconoce sino dos formas de aquélla: presión y tracción[45]. Como puede verse, la física aristotélica constituye una teoría admirable, admirablemente coherente, que, a decir verdad, no tiene (además del de ser falsa) más que un solo y único defecto: el de ser contradicha por la práctica diaria, por la práctica del lanzamiento. Pero un teórico digno de este nombre no se detiene ante una objeción del sentido común. Cuando encuentra un hecho que no concuerda con su teoría, lo niega. Y cuando no lo puede negar, lo explica. Y es en la explicación de este hecho —el hecho del lanzamiento, movimiento que continúa pese a la ausencia de motor—, aparentemente incompatible con su teoría, donde Aristóteles nos muestra su genio[46]. Su teoría del lanzamiento —elaboración sistemática de una observación de Platón[47]— consiste en explicar el movimiento, aparentemente sin motor, del proyectil, por la reacción del medio ambiente[48].

Explicación genial pero, desde el punto de vista del sentido común, perfectamente inverosímil. Por ello, todos los ataques

---

[43] Aristóteles tiene toda la razón. Ningún proceso (devenir) dura por inercia. Y el movimiento sólo dura porque no es un proceso.

[44] No existe la fuerza de atracción en la física aristotélica.

[45] Desde el punto de vista estrictamente mecánico, en realidad no hay otros. Cf. E. Meyerson, *Identité et realité*, 3.ª edic., p. 84.

[46] Es tan bella la teoría de Aristóteles que será imitada y utilizada hasta el siglo XVII, en especial por Descartes e Huyghens.

[47] Cf. Timeo, 79ᵇ.

[48] La teoría de Aristóteles consiste en explicar la continuación del movimiento por un torbellino en el medio que circunda al móvil, medio que actúa sobre el móvil arrastrándolo y empujándolo. El «truco» teórico reside en la invención de un medio especialmente apto para moverse; hoy, diríamos de un medio elástico: el aire; cf. Aristóteles, *Física*, IV, 8, 215ᵃ, VIII, 10, 267ᵃ.

contra la dinámica de Aristóteles se referirán siempre a esta cuestión polémica: *¿A quo moveantur projecta?*[49].
Volveremos un poco más adelante sobre esta cuestión, pero antes hay que detenerse en otra particularidad de la dinámica aristotélica: la negación del vacío, y del movimiento en el vacío[50]. En esta dinámica, en efecto, el vacío no sólo no favorece el movimiento, sino que lo vuelve imposible. Y esto por razones muy profundas.

En la dinámica aristotélica todo cuerpo se concibe como algo que posee una tendencia a encontrarse en su lugar natural y, por lo tanto, a volver a él desde el momento en que, por medio de la violencia, es alejado de él. Tendencia que explica su movimiento (natural): movimiento que lo lleva a su lugar (natural) por la vía más corta y más rápida. De aquí se deduce que todo movimiento natural se efectúa en línea recta, y que todo cuerpo se dirige a su lugar natural tan rápidamente como puede, es decir, tan rápidamente como el medio ambiente se lo permite. Si, por el contrario, el medio en el que se mueve no ofreciera ninguna resistencia a su movimiento (como ocurriría en el vacío), tendría una velocidad infinita. Ahora bien, un movimiento instantáneo le parece —y no sin razón— a Aristóteles, imposible[51]. Así pues, el movimiento natural no puede realizarse en el vacío. Respecto al movimiento violento, el del lanzamiento, por ejemplo, el movimiento en el vacío equivaldría a un movimiento sin motor: efectivamente, el vacío no es un medio y no puede recibir ni, por consiguiente, transmitir y mantener el movimiento. Además, en el vacío (o sea, en el espacio de la geometría euclidiana) no hay ni lugares ni direcciones privilegiados. En el vacío no puede haber lugares naturales; en el vacío un cuerpo no sabría dónde ir, no tendría ninguna razón para moverse en una dirección más bien que en otra y, por lo tanto, para moverse en absoluto.

Una vez más, Aristóteles tiene razón: el vacío (el espacio euclidiano) no es compatible con la idea de un orden cósmico[52]: cierto, en el vacío no sólo no hay lugares naturales, sino que ni siquiera hay *lugares*. Por ello no es compatible el concepto de va-

---

[49] Véase la historia de esta cuestión polémica en Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, París, 1903-1913.

[50] No olvidemos que la imposibilidad del vacío es también una tesis cartesiana. Descartes se muestra, pues, en este punto como en muchos otros, de acuerdo con Aristóteles, en oposición a Galileo.

[51] Un movimiento infinitamente rápido, una traslación instantánea de un cuerpo de un punto a otro, es algo efectivamente absurdo.

[52] En el espacio homogéneo de la geometría, todos los «lugares» son iguales, y una traslación no crea nada nuevo.

cío con el de movimiento-proceso. Ni siquiera, quizá, con el de un movimiento corpóreo y real. El vacío no es nada, y colocar algo en esa nada es absurdo. En el espacio geométrico sólo se pueden colocar cuerpos geométricos; no se pueden colocar cuerpos reales. Por esta razón, nos dirá Aristóteles, no hay que confundir la geometría con la física: el físico razona sobre lo real (cualitativo); el geómetra sólo se ocupa de abstracciones[53].

II. LAS DISCUSIONES MEDIEVALES: BONAMICO

Como dijimos, los adversarios de la dinámica aristotélica contrapusieron siempre a ésta el hecho de la persistencia del movimiento de un móvil separado del motor; ejemplos clásicos de tal movimiento, la rueda (algunas veces reemplazada por una esfera), la piedra lanzada, la flecha, se reencuentran en los críticos de Aristóteles, desde Hiparco y Juan Filopón[54] hasta Buridan, Nicolás de Oresme, Alberto de Sajonia, Leonardo da Vinci, Benedetti y Galileo.

No vamos a rehacer la historia del problema[55]. Para darnos cuenta del estado de la cuestión, nos basta con recurrir al propio maestro de Galileo, a Bonamico[56]. He aquí su opinión sobre el problema del lanzamiento[57]:

---

[53] Es bien sabido que Aristóteles es muy contrario a cualquier confusión entre géneros: el geómetra no tiene que pensar como aritmético, ni el físico como geómetra. Exigencia perfectamente legítima: mientras subsistan los «géneros», no se puede mezclarlos. Pero se puede destruirlos.

[54] Sobre Juan Filopón véase E. Wohlwill, «Ein Vorgänger Galileis im VI Jahrhundert», *Physicalische Zeitschrift*, vol. VII, 1906.

[55] Cf. las obras citadas *supra*, pp. 6, n. 23, y 11, n. 41. El estudio del problema del movimiento es infinitamente instructivo —siempre lo es el estudio de un fracaso—; es el único que nos permite apreciar y comprender el sentido y la importancia de la revolución galileana.

[56] Al ser la obra de Bonamico a la vez muy instructiva —por un lado nos muestra la perplejidad del pensamiento medieval ante los fenómenos de la caída y del lanzamiento; por otro, nos revela hasta qué punto el conocimiento de la física del *impetus* era cosa corriente en los medios universitarios— y prácticamente desconocida por los historiadores (además de muy rara: el mismo British Museum no la posee), hemos creído nuestro deber citarla *in extenso* según el ejemplar de la Bibliothèque Nationale.

[57] Bonamici, *De motu*, l. v, cap. XXXV, p. 503. *De motibus praeter naturam et de projectis contra Platonem.* Quoniam vero oppositorum una est eademque methodus et scientia: motui vero: secundum natura opponitur motus praeter naturam: postquam de motu naturali satis dictum est: postulat nunc instituta ratio de motu, ut aliqua dicamus de eo qui est praeter naturam, qui item nascitur ex violentia: hic vero duplex est, vel simpliciter, vel quodammodo: vi autem moveri illa dicun-

«El método y la ciencia de los contrarios es lo mismo; ahora bien, al movimiento según la naturaleza se opone el movimiento contrario a la naturaleza; por ello, después de haber hablado del movimiento según la naturaleza, la regla que hemos esta-

---

tur quandocunque id quod movetur non confert vim, hoc est non habet illo propensionem, quo movetur, quia.s. non perficiatur ex eo motu, locum illum adipiscens in quo conservetur: hic autem est qui convenit suae formae; sed ab eo forma potius corrumpitur. Ideo quod unumquodque suae neci resistit, quantum potest; tantum abest ut eo properet, ut nisi virtus moventis resistentiam mobilis superet nunquam moveatur; et nisi praevaleat facultas violans, in pristinum locum semper retrocedat; neque ullo modo conatum moventis adiuvat, sicut adjuvaret saxum, si magno impetu deiiceretur: nam virtus eiusmodi facultati accedens longe velociorem motum faceret. Itaque principium talis motus omnino externum alienumque est, solumque socium sui laboris habet medium, quod impetum a movente excipiens mobili impertit. Verum quod praeter naturam absolute movetur; omnino et simpliciter nullam vim confert: immo renititur; sed ita vincitur a movente, ut simpliciter eandem illam lineam metiatur quam permearet, si moveretur secundun naturam: ideoque movetur ocyus ab initio, quam ad extremum. Quod vero aliqua ex parte praeter naturam movetur, non omnino resistit: licet eo non propendeat, quo movetur, necque eandem lineam peragrat violatum ac si secundum naturam moveretur; sed ad latera quodam pacto deflectitur. Quam ob rem etiam medium illi motui magis inservit, ob id velocius et ad maius spatium idem lapis in latera proiicitur, quam sursum directo et ad perpendiculum. Attamen neutrum illo simpliciter vergit quo agitur: necque ibi manet secundum naturam; sed posteaquam vis movens contabuerit ad suum motum locumque naturalem sese recipit, describens lineam secundum quae est ad perpendiculum inter centrum mundi et extremum, et movetur aliquanto celerius in progressu. Principia vero quae violant varia esse queunt et contraria, quae materiam affligunt, ut apparet in fulmine, quod cum sit ignis, ab aqua circumstante expellitur et propter vim agitati corporis, ut fit, ubi venti extollunt aliqua pondera et raptu mobilis cujusdam, ut forte evenit in hyppeccaumate, impetu item aquae, aut aeris in gyrum acti, ut accidit in vorticibus et generatim pulsu, tractu, vertigine et vectione quae plurimum fiunt ab animatis.

Sed cum supra de caussa violenti motus universe satis dictum sit, agamus nunc de ipso speciatim et in praesentia vestigemus caussam alterius ius motus quem solent nobis significare nota projectorum. Quae longe abstrusior est et antiquitus etiam varias ostendit opiniones. Nam Plato quemadmodum eius verba sonant, asserebat caussam talis motus antiperistasim: quanquam quo pacto caussa haec accipienda sit, nec multum declarat Aristoteles, neque satis e Platone colligitur. Etenim vox est ambigua. Siquidem sit proprie contrariorum ambitus; quando unum contrariorum ambit, et alterum velut in centrum adducit quemadmodum calor centrum versus aestate cogit frigus, unde multa poma oriuntur, quibus frigus insigniter dominetur; et contra frigus hyeme centrum versus calorem propellit, unde ventres hyme calidiores; secundo etiam communius accipiatur in latione sola, cum ambiens efficit lationem in eo quod ambitur, ex eo ducens originem, ut Plato volebat; quia movens omne, dum moveret, una quoque moveretur; nec ullam vim, nisi qua corpus esset, mobili communicaret, aut in aliud a se transferret; quapropter eodem motu quo mobile ipsum ageretur, ut, si animus res

blecido con respecto al movimiento exige que digamos algo sobre el que es contrario a la naturaleza y engendrado por la violencia. Mas éste es doble, a saber: o simplemente contrario a la naturaleza, o contrario sólo en cierto modo. Pues se dice

---

esset corporea, idemque corpus agitaret, ipse quoque primum pari ratione ferretur.

Ita igitur in projectione partes circunstantes in locum posteriorum succedunt, ut, A. si moveat B. subit in ejus locum et si B. propellat C. locum eius occupat et sic cetera deinceps. Hoc autem dubitatur, an sit per extensionem eius corporis quod ambitur; an potius sit per successionem quae fit propter vacuum: nanque huiusmodi sensum ex eius verbis colligebat Simplicius, et haec item sententia ab Aristotele sub hac ratione confutata deprehenditur, quoniam ex eo quod a tergo rei mobilis coiret medium (hoc.n. liquidum esse oportet et facile coire posse) ne detur vacuum: facta autem illa coitione mobile procederet ulterius. Sed quocunque accipiatur a tergo medium convenire, sive impleat solum id spatii quod a mobili relictum fuerat, sive etiam id quod congreditur, ipsum promoveat, multa sunt quae nos ab ejus opinione avertant. Ac quantum de secunda est, quam de verbis Platonis Simplicius ipse profitetur, satis haec illus fallaciam significant. Primum quia ratio reddi non potest, cur primo cessante, reliqua moverentur: ubi nam fiat motus per solum contactum, veluti fieret in hac hypothesi, uno moto deinceps omnia moverentur, eoque manente quiescerent; quod omnia in alterius locum successione quadam subingrederentur. Quod si id non eveniret, omnia quoque manere opus est: talis nam motus est antiperistaseos, si credere dignum est Aristoteles quod unum quidem primum movetur et movens in eius locum subit; ita ut una movens et mobile concitentur; neque velocitate maiore partes in progressu q. ab initio moverentur: oppositum tamen apparet. Quod si de experientia dubites, vide item id evenire, si segnius in progressu concitetur quod in parte quadam motus illius negari non potest nanque idem tenor a natura servabitur, dum vacuum propulsare contendit, hoc studet, ut arceatur inane, id semper eodem instanti praestat quo motus efficitur; nec potest effici motus, nisi movens succedat. Itaque idem est successionis instans et motus, atqui vacui pulsio perpetuo sui similis est; et motus igitur. Praeterea natura solam intenderet coitionem, utputa, ut exploderet vacuum: ubi igitur aere in saxi locum subingresso, adepta illam fuisset; non esset certe, quod amplius laboraret; si ergo post primam saxi motionem coivit aer, cur motus procedit ulterius? Quantum vero pertinet ad primum illum modum antiperistaseos qui affert extrusionem: habet et hic contra se multas experientias. In primis. n. ecquid erit caussa, quod vetet lapidem ad celum usque concitari? nam, si aer in eius locum succedet, et lapidem idcirco propellit, quanto continue sit ea successio, continue quoque lapidis propulsio fiet, quousque suppetat aër, aut corpus aëri quod propter coëundi facultatem valeat idem atque aër. Tum item facilius palea, quam saxum proiici posset, tum quod palea levior est, et sursum magis propendet quam saxum tum etiam, quid maior est aeris impellentis ad paleam proportio, quam ad saxum: ex maiore autem proportione velocior motus procedeat necesse est. Rursus, si filum saxo appendatur, ob eandem caussam a fronte saxi ponderet: cum videamus igitur ipsum a tergo porrigi in longitudinem, et quasi trahi a saxo, potius quam ab aëre propelli; dicamus oportet extrusionem non esse caussam tali motus. Sic undique Platonis opinionem lubricam esse comperimus.

que algo es movido por una fuerza cuando lo que se mueve no recibe esa fuerza de sí mismo, es decir, no posee (en sí mismo) la propensión por la cual se mueve, ya que por ese movimiento no se perfecciona llegando al lugar en el que se conserva; pues el lugar en el que se encuentra es el que conviene a su forma, mientras que en el otro ésta más bien se corrompe. Ahora bien, todo lo que es se resiste a morir tanto como puede; el móvil está tan lejos del deseo de dirigirse al lugar que no le es natural que, si la virtud del motor no superara su resistencia, no se movería nunca; y si la facultad que violenta no prevaleciera, retrocedería siempre al antiguo lugar; así, de ninguna manera ayuda al *conatus* del motor, como lo hace una piedra lanzada hacia abajo con gran fuerza; en tal caso, su misma virtud, unida a la acción del motor, produce un movimiento mucho más rápido. De este modo, el principio de un movimiento simplemente violento es totalmente exterior y ajeno (al móvil), y no tiene más que un solo coadyuvante en su trabajo, a saber, el medio, que al recibir el *impetus* del motor, lo imparte al móvil. En realidad, lo que se mueve absolutamente en contra de la naturaleza no recibe absoluta y simplemente ninguna fuerza... pero es vencido por el motor, de manera que (en su movimiento) sigue (en sentido inverso) la misma línea que habría recorrido si se moviera según la naturaleza; por eso se mueve más rápidamente al comienzo que al final. Pero lo que sólo en cierto modo se mueve en oposición a la naturaleza no resiste en absoluto, aunque no tienda al lugar a donde va, y no sigue, al ser violentado, la misma línea que habría seguido si se moviera conforme a su naturaleza, sino que es desviado hacia un lado. Por eso también el medio le ayuda y le sirve aún más en su movimiento; y debido a ello, la misma piedra es arrojada más lejos y con un movimiento más rápido hacia un lado que directa y verticalmente hacia arriba. Sin embargo, ningún cuerpo (movido así) tiende simplemente hacia el lugar al que es empujado y, conforme a su naturaleza, no permanece allí, sino que una vez que la fuerza motriz se ha agotado, regresa a su lugar y movimiento naturales, describiendo una línea conforme a la naturaleza, línea que es una perpendicular entre el centro del mundo y su extremo; y, en ese movimiento, aumenta un poco su velocidad a medida que avanza. Mas los principios que violentan pueden ser muy diversos, y aquéllos que afectan a la materia son, con frecuencia, los contrarios, como puede apreciarse en el rayo, que siendo fuego, es expulsado por el agua circundante; en los cuerpos graves, cuando son levantados por el viento; en el *raptus* de ciertos móviles, como sucede tal vez con las capas supe-

riores del aire; en el *impetus* del agua, o del aire movido en círculo, como en los torbellinos; y, en general, en el empuje, la tracción, la traslación y la rotación que se realizan, sobre todo, por los seres animados.

»Pero como ya con anterioridad hemos hablado suficientemente de la causa y de las propiedades del movimiento violento en general, vamos a tratarlo ahora en particular, y por lo pronto estudiaremos la causa de ese otro movimiento al que de costumbre se designa con el nombre de *proyección.* Esta es mucho más difícil de descubrir, y a su propósito, existen desde la Antigüedad muy diversas opiniones. Así, Platón atribuye la causa de este movimiento a la —para emplear sus propios términos— *antiperistasis.* Pero Platón no nos explica suficientemente cómo se la debe comprender, y Aristóteles no agrega gran cosa a ello. Por eso ese término es ambiguo, ya que designa propiamente el circuito o la revolución de los contrarios; cuando uno de los contrarios circunda al otro y lo lleva, de alguna manera, al centro. Así, el calor, en verano domina al frío; de ahí que nazcan los frutos, que son fríos por naturaleza; y, al contrario, en invierno el frío arroja el calor hacia el centro, lo que hace que en invierno los vientres estén más calientes. En segundo lugar, y más comúnmente, este término se aplica al movimiento solo, a saber, en el caso en que el ambiente produce el movimiento en el móvil al que empuja y en que a su vez éste le da origen, como creía Platón. Pues todo motor, en cuanto que se mueve, es al mismo tiempo movido. Y no comunica ninguna fuerza al móvil ni transfiere ninguna a otro que no sea él; por eso se mueve con el mismo movimiento que el propio móvil. Así, si el espíritu fuera una cosa corporal, movería al cuerpo y se movería a sí mismo con un solo y mismo movimiento.

»Por consiguiente, en el momento de la proyección, las partes del medio circundante se sitúan sucesivamente en el lugar de las partes posteriores del móvil; así A, si mueve a B, toma su lugar, y si B empuja a C, ocupa el lugar de él, y así sucesivamente. Pero nos preguntamos si esto se efectúa mediante la dilatación del cuerpo que realiza el circuito, o más bien mediante una sucesión que se produce a causa del vacío; pues éste es el sentido en que lo interpreta Simplicio; por eso esta teoría es refutada por Aristóteles con los siguientes argumentos: de acuerdo con esta teoría, el medio se aproxima y se une al dorso del móvil (el medio, pues, debe ser fluido y poderse mover fácilmente) con objeto de que no haya vacío; hecha esta unión, el móvil continúa su movimiento. Ahora bien, ya se admita que el medio que sigue al móvil llena sólo el espacio que éste abandona, ya

se admita que empuja hacia adelante lo que aborda, subsisten muchas dificultades que nos disuaden de esta opinión.

»En cuanto a la segunda hipótesis, que el propio Simplicio dedujo de las palabras de Platón, las razones siguientes demuestran suficientemente su error. *Primo*, no se puede explicar por qué si cesa (de moverse) el primer móvil, los otros continúan, pues allí donde el movimiento se hace sólo por contacto, como sucedería según esta hipótesis, todos (los cuerpos) se mueven con un solo movimiento, y al faltar éste se detienen todos, porque los unos deben ocupar el lugar de los otros al sucederse... De otro modo, todo debería permanecer inmóvil. Tal es, en efecto, el movimiento antiperistático, si hemos de creer a Aristóteles: un móvil cualquiera sólo es movido si el motor penetra en su lugar. De tal forma que el motor y el móvil se mueven juntos y las partes (del circuito) no se moverán más rápidamente a continuación que al comienzo. Ahora bien, lo cierto es lo contrario. Si se dudara de la experiencia, se podría esgrimir que la disminución de la marcha del móvil —hecho indudable— sería asimismo imposible...

»Pues el movimiento no se puede efectuar a menos que el motor lo continúe. Por consiguiente, el instante de la sucesión (del motor al móvil) es el mismo que el del movimiento. Además, la impulsión del vacío es siempre semejante a sí misma y por lo tanto el movimiento (lo es también).» Lo que implicaría que todos los movimientos deberían hacerse con la misma velocidad. «Además, la naturaleza no desea sino el contacto, es decir, únicamente la supresión del *vacuum*. Así, no está claro por qué habría de seguir trabajando el aire allí donde realiza el contacto al haberse puesto en el lugar de la piedra. Por consiguiente, si el aire alcanza el contacto tras el primer movimiento de la piedra, ¿por qué habría de ir más lejos el movimiento? Pero en lo que concierne al primer modo de la antiperistasis, aquél que comporta la extrusión, es igualmente contradicho por numerosas experiencias. En primer lugar, la causa que lanza la piedra sería suficiente para llevarla hasta el cielo. En efecto, si el aire la sucede en su lugar y empuja la piedra de manera que esta sucesión sea continua, se desprende que la propulsión de la piedra proseguirá tan lejos como se extienda el aire o el cuerpo del aire, el cual, en lo que respecta a la facultad de contacto, cuenta tanto como el aire. En este caso, una paja podría ser lanzada más fácilmente que una piedra, porque la paja es más ligera y tiende hacia arriba más que la piedra. Del mismo modo, si hubiera un hilo atado a la piedra debería ir delante

de ella; sin embargo, vemos cómo se extiende hacia atrás, más bien arrastrado por la piedra que propulsado por el aire.

»Por lo tanto, la opinión de Platón nos parece completamente ridícula.

»Habiendo rechazado la opinión de Platón, Aristóteles[58] de-

---

[58] F. Bonamici, *De motu*, l. v, cap. xxxvi, p. 504: «*Aristotelis sententia de proiectorum motu recensetur, et ea quae contra illam afferi solent exponuntur:* Repudiata Platonis opinione, decrevit Aristoteles a movente vim imprimi aëri sive medio, propter eius naturam quae anceps est, nec gravis tantum, aut levis: ob eamque caussam impetum quoquo versus excipere potest. Quia tamen impetus ille simpliciter eo versus non est, licet, ut alias a nobis dictum est, eius naturae minus hoc adversetur, quam si simpliciter sursum, aut deorsum moveatur: quia non tantum levis est, sed etiam gravis, tantisper item resistit, atque ubi seiunctus est aliquantum a primo motore, vim ab eo sibi impressam paullatim amittit, demum deferiscitur, et contabescit et ita proiectum ab alio non violatum, pristinas conditiones recuperat et secundum illas ad eundem locum festinat, unde coactum discesserat, quasi ferrum, quod ubi segregatum ab igni fuerit, ad propriam frigiditatem revertit. Verumtamen Philoponus, et alii Latini in Aristotelem acerrime invecti sunt, usque adeo, ut praeceptorem deserverint. Primum quia neque item eius positio difficultatem illam evitat quam Platoni paullo ante obiecimus; nunquam. s. eius motum cessaturum, quoniam ab aere vehitur saxum, aër autem, hic ubi impetum excepit, non habet unde quiescat: quoniam impetus ille sit ei naturalis non secus atque descensus saxo secundum naturam sit: quare non modo saxum per aërem totum agitabitur, sed etiam tempore infinito, si infinitus fuerit aer. Nam dicere ipsum aërem fieri per se mobilem, ut moveri simul et manere possit, quod animatorum proprium est, longe aberret a verisimili. Neque sufficit id quod adscribebat Averroes, medium a sua naturali forma moveri, cum tamen motum ab extrinseco sumere occasionem. Nanque esto hoc. At unde quies in medio? iam. n. adfuit occasio movendi; mediumq. secundum naturam movetur. Deinde si ab impetu iam indito et impresso a primo movente sit iste motus; quo mobile propinquius erit moventi, eo quoque maior impetus erit saxi projecti, et motus ipse velocior. At hoc falsum est, quia proiectorum motus augetur per aliquantum spatii in progessu, quod item experientia testatur cum funda, aut balista, aut etiam quodvis tormentum ex distantia quadam vehementius feriat, quam cominus. Adde etiam, quia saxum contra ventum moveri non posset. Etenim maiore impetu moveretur aër contra saxum, cum maior sit impetus venti quam proiicientis ipsius. Accedit eodem q. per aequalem distantiam moveretur lapis a tangente et a remoto, quoniam aequalis impetus aeri posset imprimi ab utroque. Tum postremo eadem velocitate proiiceretur hasta oblonga ac brevis: quoniam aequalem impetum impertiri possis utranque proiiciendo. Quamobrem Philoponus, post ipsum vero Albertus, D. Thomas et alii complures opinati sunt, vim sane imprimi a primo movente non aeri quidem, sed mobili, utputa saxo; et prout maior, aut minor vis illi imprimeretur, ita per maius spatium atque velocius agitari. Huiusmodi autem vim interdum expeditius ac promptius excipi. Nonnunquam aegrius et lentius; propter illa quae motui solent auxiliari, utputa, figuram, magnitudinem, materiae multitudinem et caetera, quae supra caussas lationis socias appellavimus, sic longius fertur hasta, quam corpus quadratum, et chorda tenta, quia melius excipit impetum, reti-

cidió que la fuerza es comunicada al aire, o al medio, por el motor en virtud de su doble naturaleza, ni grave únicamente ni leve; a causa de lo cual precisamente el aire puede recibir el *impetus* en cualquier sentido. Como, sin embargo, el *impetus*

---

neique diutius, quam remissa, diutius quoque tremit, atque ictum facit maiorem. Si quaeratur etiam, cur aër in iactu non agitur in immensum: respondent: quia communicatur ille motus a lapide partibus proximis, et ab hisce subinde reliquis contiguis, ut etiam vel eodem Aristoteles, teste et auctore (8° phys.) non sit unus ille motus, quia mobile non simpliciter idem permaneat, at vero cum motus ille non sit neque lapidi, neque aëri naturalis, sed utrique eveniat ab externo praeterea circumferentiam versus dilatetur, quemadmodum fieri conspicimus ubi, lapis in acquam proiciatur, facit. n. rotationes in principio minores, sed velociores; et ob maiorem proportionem quam habet tum movens ad mobile: et quia citius peragi solet spatium quo brevius est, in processu maiores quidem, sed tardiores: et aucto spatio et proportione moventis ad mobile imminuta: sic facit lapis in aërem proiectus; ideo motus segnior evadit; ut demum fatiscat; et interposita quiete; quia motus aut contrarii sunt, aut contrariis respondent, semoto impediente moveatur secundum naturam. Reddi etiam causa potest, cur pila lusoria facilius repercutiatur, quam lapis: in motu.n. ante reflexionem valde comprimitur: postquam reflexa, est dilatatur; ita quaerens innatam dimensionem (consequitur autem ipsam, non secus atq. suum locum elementum genitum assequatur, cum ablatum fuerit impedimentum) ex repulsione maiorem impulsum adipiscitur. Quo fit, ut cum positio haec illa praestet quod bona quaestionis explicatio debet efficere: consentit.n. cum ratione, non oppugnat sensum: satisfacit omnibus problematis quae de re proposita quaeri possunt: et inhaerentium caussas reddit: alacriter etiam a Latinis contra Arist. ipsum defendatur. Et quoniam ita potest in methodo naturali experientia, ut ceteris neglectis machinis ingenii et rationis, illi standum sit, statuamus ad opinionis huiusce confirmationem levissimam tabulam, ex qua torno, aut circino incidente orbis eximatur: ita ut sine mutuo attritu orbis ille intra illud cavum circumagi possit, et tabula alicubi defixa, vectis cum manubrio illi orbi infigatur, quod manubrium singulae utrinq. furcillae, seu cervi sustineant. Tunc manifesto apparebit circumactum orbem intra illud spatium tabulae orbiculatum moveri à moto motore, nullo aëre impellente. Neque tunc, quia motus ille in orbem est, locus erit aëri impellenti. Nam quamvis aër inter orbem et tabulam existat, adeo est exiguus, ut nullas vires ad eum motum habiturus sit; eoque maxime, quod ipsius orbis politissima laevitas ab aëre circunstante, neutiquam agitationis instigationem accipere valebit. Quo.n. laevius quid est, eo magis agglutinationem respuit.

Quanquam quid aliud erat, quod a nobis in hac caussa reddenda posset afferri, quam auctoritas ipsa Arist. qui aut hanc caussam omnino recipit, aut si aliam probavit, evidentissima repugnantia concluditur? Habet.n. Q. Mech. tantum ferri id quod fertur. i. proiicitur et pellitur, quantum aëris moverit ad profundum, ideoque caussam reddebat, cur neque magna nimis, neque valde parva proiici possent. Monstrant haec omnia igitur impetum aëri in motu projectorum a movente primo non committi, contra q. ab ipso Arist. contra Platonem decretum fuerit. Ita magnum opus erit; si summus ille praeceptor a calumniis hisce purgetur, id quod nos pro veritate ipsa mox aggrediemur, oppugnatores enim acerrimi sunt.»

no se acomoda nunca a su naturaleza —si bien, como ya dijimos en otro lugar, el movimiento horizontal ofrece menos oposición que el que se hiciera hacia arriba o hacia abajo, ya que el aire no es sólo leve sino también grave—, resiste, y allí donde está un poco separado del primer motor pierde poco a poco la fuerza impresa por éste; esta fuerza se disipa y termina por desaparecer y así el proyectil, al no experimentar más violencia, regresa a su condición anterior, y al acomodarse a ésta se apresura a regresar al lugar de donde la fuerza le había hecho irse, de modo similar al hierro que cuando es retirado del fuego regresa a su frialdad propia. A este respecto, Filopón y otros latinos atacaron muy fuertemente a Aristóteles, hasta llegar a recusar su autoridad.

»Ante todo, dijeron que su posición no evita de ninguna manera la dificultad que acabamos de objetar a Platón: a saber, que si la piedra es llevada por el aire, su movimiento no cesará jamás, pues el aire que recibe el *impetus* no tiene ninguna razón para volver al reposo. En efecto, este *impetus* se acomoda a su naturaleza, y su movimiento no es pues diferente al del descenso de la piedra, que se acomoda a la naturaleza. Por eso no sólo la piedra se movería a través de todo el espesor del aire, sino que incluso, si el aire fuera infinito, su movimiento duraría un tiempo infinito. Pues eso de que el mismo aire sea móvil de por sí, de modo que pueda moverse y también detenerse —lo que es propio de los seres animados— está muy lejos de ser verosímil. Tampoco es suficiente decir como Averroes que el medio es movido por su forma natural y que, sin embargo, el movimiento se produce con motivo de algo exterior. Pues aunque se admitiera esto, ¿cómo se establecería el reposo en el medio? El motivo de moverse está, en efecto, presente, y el medio es movido según su naturaleza. Seguidamente: si el movimiento (del medio) proviene del *impetus* impreso e introducido por el primer motor, el *impetus* de la piedra proyectada será tanto mayor cuanto más cerca esté el móvil del motor; y su movimiento será tanto más rápido. Pero esto es falso, ya que el movimiento (la velocidad) de los proyectiles aumenta primero en un cierto espacio, cosa mostrada por la experiencia, a saber, que la honda o la ballesta, así como el cañón, producen efectos más vehementes (cuando se dispara) desde alguna distancia que (cuando se dispara) desde cerca. Añadamos que si estuviera movida por el aire, la piedra no podría moverse contra el viento, pues... el *impetus* del viento es mayor que el del proyector. Y a esto se añade asimismo que la piedra sería proyectada a una distancia igual por un motor contiguo que por un

motor alejado, pues tanto uno como otro pueden imprimir al aire el mismo *impetus*. Por eso Filopón y, después de él, Alberto, santo Tomás y muchos otros, pensaron que la fuerza era impresa por el mismo motor no al aire sino al móvil, por consiguiente, a la piedra. Y que según sea más grande o más pequeña la fuerza impresa al móvil, éste será llevado más lejos y más rápidamente; ahora bien, unas veces esta fuerza es recibida más fácil y rápidamente; otras, más difícil y lentamente; esto en función de los factores que favorecen el movimiento, tales como la forma (geométrica), el tamaño, la cantidad de materia, etc., factores a los que antes hemos llamado causas concomitantes del movimiento. Por eso la lanza es llevada más lejos que un cuerpo cuadrado; y una cuerda tensa, dado que recibe mejor el *impetus* y lo retiene por más tiempo que una cuerda floja, vibra más tiempo y golpea con mayor fuerza. Si ahora se les pregunta la causa de que el aire, en el lanzamiento, no se mueva indefinidamente, responderán que ese movimiento es comunicado por la piedra a las partes más cercanas, y por éstas a otras contiguas. Y que este movimiento, como dice el mismo Aristóteles, no es uno, pues el móvil no es uno simplemente; además ese movimiento no es natural ni a la piedra ni al aire, sino que les viene de fuera. Por eso se propaga hacia la circunferencia, como vemos cuando una piedra es lanzada al agua; al principio provoca círculos más pequeños, pero más rápidos, y esto en razón de la mayor proporción que existe entonces entre el movimiento y el móvil: en efecto, el espacio es atravesado tanto más rápidamente cuanto menor es; seguidamente la piedra forma círculos más grandes, pero más lentos, porque el espacio aumenta y la proporción entre motor y móvil disminuye.

»Pasa lo mismo con la piedra proyectada en el aire; el movimiento se hace más lento y, finalmente, se agota. Entonces, tras un reposo interpuesto, la piedra comienza su movimiento natural: porque los movimientos son o contrarios o responden a los contrarios; por eso, al ser suprimido el impedimento, el móvil se mueve conforme a la naturaleza. Igualmente se puede explicar por qué una pelota rebota más fácilmente que la piedra: en efecto, en el movimiento que precede a la reflexión, se comprime con fuerza; tras su reflexión se dilata buscando así el tamaño innato (pues lo busca del mismo modo que el elemento busca su lugar de origen cuando el impedimento es suprimido), y recibe de la repulsión un impulso mayor.

»De donde se deduce que esta teoría posee todas las características de una buena explicación del particular, es decir, que concuerda con la razón y no está en contradicción con los sen-

tidos: da la solución de todos los problemas estudiados y explica todos los fenómenos inherentes; por ello es enérgicamente defendida por los latinos contra el propio Aristóteles.

»Y puesto que en la ciencia de la naturaleza el poder de la experiencia es tal que hay que someterse a ella haciendo caso omiso de todos los demás artificios de la inteligencia y de la razón, hagamos el siguiente experimento... tomemos una tabla muy pulida en la cual, por medio de un torno o de un compás cortante, recortemos un disco, de modo que, sin que se produzca mutuo frotamiento, el disco pueda girar en la cavidad; y, con la tabla fija en alguna parte, adaptemos una manivela al disco sostenida por pequeñas horquillas o muescas. Entonces se verá claramente que el disco que gira en el interior del espacio orbicular de la tabla es movido por el movimiento del motor, sin que ningún aire lo empuje. Pues si bien entre la tabla y el disco hay aire, será tan poco que no tendrá la fuerza debida para producir ese movimiento; máxime cuanto que la superficie sumamente lisa del citado disco no podría recibir ningún empuje del aire circundante, ya que, cuanto más liso es algo, menos asidero ofrece...»

No precisamos insistir sobre el interés de este pasaje, que nos muestra claramente los rasgos esenciales de la ciencia medieval: unión de una metafísica finalista con la «experiencia» del sentido común. Estos rasgos —que la ciencia galileana rechazará— son los que igualmente encontramos en el análisis del problema de la caída.

El problema del lanzamiento no fue la única *crux* de los comentaristas antiguos o medievales de la física de Aristóteles. El de la caída de los cuerpos o, más exactamente, el de la caída *acelerada*, constituía otro, no menos temible.

En efecto, ¿por qué caen los cuerpos con una velocidad que aumenta más y más? A decir verdad, para el mismo Aristóteles el problema era casi inexistente. Si el movimiento de la caída de los cuerpos graves (o, correlativamente, el movimiento de elevación de los cuerpos leves) se hace en virtud de la tendencia natural del objeto a llegar a su lugar «propio», ¿no es «natural» que este movimiento se acelere conforme se va acercando a su meta?

Pero para los comentaristas, y sobre todo para los medievales, existía un problema, un problema difícil. Confundiendo el concepto aristotélico de «tendencia» con el de «fuerza», se preguntaban, y con mucha razón, cómo era que una causa cons-

tante (el peso), actuando de una manera natural, produjera un efecto variable. ¿De dónde provenía la aceleración?

Las respuestas brindadas por los comentaristas pueden ser *grosso modo,* clasificadas en dos grupos [59]. Los aristotélicos buscaban la solución bien en una variación (disminución) de la resistencia del medio (del aire), bien, aplicando al movimiento de la caída la teoría elaborada para el lanzamiento, en la reacción del medio provocada por el propio movimiento, reacción cuyo efecto se añadiría al de la gravedad propiamente dicha [60].

Respecto a los partidarios de la física del *impetus,* buscaban la solución en una variación de la fuerza motriz —del *impetus*— que anima al cuerpo, en una especie de adición del impulso al movimiento. Esta solución, al no existir el concepto de inercia, estaba a decir verdad fundada principalmente en un equívoco verbal entre *impetus* (fuerza motriz) e *impetuosidad* (cualidad o propiedad del movimiento). El cuerpo, se pensaba, adquiría al caer una cierta *impetuosidad,* y esta impetuosidad de su movimiento, sumada al *impetus* natural de la pesantez, podría explicar el incremento de la velocidad.

Pero refirámonos, una vez más, a Bonamico [61]:

---

[59] Una vez más, a los *Etudes* de Duhem debemos el conocimiento de estas discusiones.

[60] Ya hemos señalado que también fue ésta la solución adoptada por Descartes.

[61] F. Bonamici, *De motu,* l. IV, cap. XXXVII, pp. 410 ss.: *«Aggredimur questionem qua de cremento naturalis motus in fine disseritur.»*

... facile reddi potest caussa quaestionis illius; cur ea quae moventur secundum naturam ocyus in fine moveantur, quam in principio motus. De qua sane quaestione multa dicta fuerunt tum Arist. ipsius temporibus, tum etiam usque ad haec nostra, caussaeque complures allatae, cum per se, vel natura, vel locus, tum per accidens, ut impedimenti sublatio, calor rarefaciens, adventitia quaedam gravitas, atque haec vel seorsum vel coniunctim, eademque admodum verisimiles, ut nisi Argi oculos adhibeamus, facile decipi possimus. Idcirco praestat, ut singulas caussas curiosius requiramus...

Nam antiquitas (etenim nos Graecorum sententias primum recitabimus). Timeus, Strato Lampsacenus et Epicurus existimaverunt, omnia quidem esse gravia, nihil per se leve: duos autem esse terminos motus, alterum supremum, atque alterum oppositum illi infimum, sed unum nempe deorsum et infimum esse locum in quem omnia properent secundum naturam; alterum vero ad quem vi ferantur: etenim cum omnia gravia sint, deorsum suapte natura feruntur, quod si quis ex his inferius est, aut superius, hoc non aliunde proficisci quam, quod corpora graviora minus gravia premunt, et ideo subeunt illa, non quidem quia leve aliquid sit; propterea suopte nixu sursum feratur, sed utraque corpora sunt in genere gravium; alterum vero ex illis leve apparet, quoniam hoc gravissimum est, illud minus grave, et quoniam hoc gravissimum est, ideo premens illud quod est minus grave, subit ipsi, quod autem minus grave est, sic supereminet: quasi vero motus hic fit per extrusionem, quare,

«... ¿Por qué las cosas que se mueven según la naturaleza se mueven más rápidamente al final que al comienzo del movimiento? Muchas cosas se han dicho sobre esta cuestión tanto en la época de Aristóteles como desde entonces y hasta nuestros días. Se han alegado múltiples causas: por una parte, causas *per se*, tales como la naturaleza o el lugar, y, por otra, causas

---

quo gravius est, magis extrudit, magisque opprimens id quod est minus grave, eo etiam velocius fertur. Ob id velocitas huius motus non quidem ab interna caussa derivabitur, verum ab externa, et erit violenta, non autem naturalis.

Ceterum in hos invectus est Aris. ab his quae monstrat sensus in aliquo genere motuum, atque conclusit nonnullum esse quoque motum naturalem in omni corpore et sursum etiam, tum quod ubi movetur aliquid vi, citius fertur, si minus sit, quam si fuerit maius, tum praeterea quia quicquid vi movetur in sui motus nitio velocius est; evanescente vero illo moventis impetu, etiam deficit eius motus, ac naturalis illi succedit, qui quidem in principio segnior est, vegetior vero fit in progressu, ac postremum prope finem velocissime fertur: nam id quod aliquo fertur vi, movetur inde secundum naturam. At nos in elementorum motu, verbi gratia quando terra descendit, cernimus quo maius est illius moles, etiam ferri velocius. Praeterea conspicimus ipsam initio segnius agitari, quam in progressu et tum velocissime concitari cum fuerit prope finem motus, atque ubi demum pervenerit ad medium, ab ipso non moveri, nisi cogatur, idem quoque iudicandum de nonnullis quae sursum ferunt. Ergo non oppressione, aut extrusione, aut ulla denique vi moveri dicemus haec corpora, sed natura.

Veruntamen dicet quispiam. Esto motus hic naturalis, idemque in fine velocissimus, idque ab Aristotele contra philosophos illos optime sit conclusum. At non ob id huius eventi caussam tenemus, haec ergo superest inquirenda in qua etiam multum est laboratum, atque adeo ut septem opiniones circunferantur, et caussa quedam ab Aristotele allata, tanquam parum idonea repudiata fuerit.

Nanque Hipparchus ita referente Simplicio, in opusculo quodam, quo sigillatim disquirit hoc ipsum problema, censuit motum naturalem esse velociorem in fine, quia mobile prohibeatur aliena vi ab initio motus: ex quo efficiatur, ut vim suam nativam exercere non possit, ideoque pigerrime citetur: ceterum evanescente paullatim aliena illa, et extrinseca vi reficitur naturale robur, et quasi liberum impedimento efficacius operatur. Ita fieri ut gradum accelerent in progressu, non secus atque ubi conferbuerit aqua et amoveatur ab igne: namque ab initio paullatim tepescit, et vix ullum progressum facere videtur fatiscente vero calore, pristinam facultatem recuperat, celerius refrigeratur et eo usque demum procedit, ut etiam longe frigidior evadat, quam ipsa foret ante calefactionem. A qua item sententia non abhorrere censeas. Arist. ipsum qui tali hypothesi nixus caussas grandinis indagavit et experientia piscatorum ipsas approbavit. Nota res est.

Contra Hipparchum haec dixit Alexander. Cum. n. duae sunt caussae propter quas elementa feruntur in propria loca; prima quidem, quando generantur; nanq. eo tempore quantum contrahunt de forma tantundem etiam assequuntur de ipso ubi: altera vero quando iam genita extra locum proprium ab aliquo detineantur, quemadmodum ignis apud nos, et amoveatur impedimentum. Esto igitur quod cum gignuntur, quia tunc perfecta non sunt, non possunt exercere facultatem illam suam nativam;

per accidens, tales como la supresión de los obstáculos, el calor rarificativo, cierta gravedad adventicia; y esto separada o conjuntamente. Ahora bien, estas explicaciones son bastante verosímiles; por eso, a menos que se tengan los ojos de Argos es fácil equivocarse y habremos de examinar con mucha atención las causas particulares.

»En la Antigüedad (pues comenzaremos por referirnos a las opiniones y doctrinas de los griegos), Timeo, Estratón de Lámpsaco y Epicuro estimaban que, en verdad, todas las cosas eran graves y que nada era leve de por sí; hay, pues, dos términos del movimiento: el uno, el más alto, y el otro, opuesto a aquél, el más bajo; pero el uno, a saber el bajo, es el lugar hacia el cual todas las cosas tienden por naturaleza; el otro, por el contrario, es aquél hacia el cual las cosas son llevadas por fuerza; así, como todas las cosas son graves, se dirigen hacia abajo por naturaleza; y si una de ellas está más baja o más alta, esto no proviene sino de que los cuerpos más pesados ejercen presión sobre los menos pesados, y por este hecho se sitúan debajo de ellos; no se trata pues, de que alguna cosa sea en realidad leve

---

at postquam a genitis arceatur impediens, quid illa vetat, quominus secundum summum suae naturae concitentur?

Fortasse poterat hoc adversus Hipparchum, quia non urget id positionem nostram: eo, quod adest semper impedimentum, quousque fuerint in loco proprio, atque ubi remotum fuerit universum, iam non moventur sed in proprio loco quiescunt. Idcirco existimarunt alii nescio quod, multos autem in eam venisse sententiam.

Simplicius ipse testatur: eorum velocitatem ex illo amplificari, quod resistentia medii minor esset in fine motus, quam ab initio: quandoquidem minor medii portio relinqueretur a mobili superanda motu ad finem tendente, eaque minus resisteret. Talis. n. est conditio virtutum, quae in materia consistunt, quod ceteris paribus in maiore corpore sunt robustiores: medium vero motui resistere, immo vero caussam esse, cur tempus in loco mutando consumatur, ante docuimus quam ob rem ubi medium rarius est maior solet esse celeritas, atque adeo ut in vacuo nom futurus sit motus. Attamen caussa talis non est quam reddidit Arist. inquiens augeri velocitatem in fine motus ex additione gravitatis, non autem ex eo, quod minor portio medii supersit. Sed quoniam revocatur hic locus in controversiam, ne forte petitionem principii committamus, etiam sic urgeamus illos. Quia majori corpori ceteris paribus, utputa figura, et insigni parvitate molis, excepta, plus aeris obsistit quam minori. Nanque omnia haec motus evariare possunt, seu naturales sint, sive animales, sive etiam violenti...

Plus igitur aer obsistit majori corpori, quam minori, et tamen corpus maius citius delabitur quam minus. Non ergo medii resistentia potuit esse caussa cur motus ab initio prigrior sit. Deinde quoniam caussa eadem intercedit, medii nimirum imminutio ubi motus violentus sit, sicut etiam ubi naturalis, quare item effectus idem contingere plane deberet. Cum igitur hoc ipsa experientia non confirmet; sed oppositum potius doceat, credibile item non est eam esse caussam cur intendat motus naturalis in fine.

y se dirija hacia arriba merced a una tendencia espontánea, porque los dos cuerpos pertenecen al género de los graves. Si uno de ellos parece leve es porque el otro es más pesado, y éste lo es menos; ahora bien, al ser uno de ellos muy pesado, ejerce presión sobre el que lo es menos, y baja, y el que lo es menos, sube; así, en cierto modo el movimiento (hacia arriba) se hace por extrusión porque el grave, cuanto más lo es, más expulsa y oprime y tanto más rápidamente al que lo es menos. De modo que la velocidad de este movimiento (hacia arriba) no se deriva de ninguna causa interna, sino de una externa, y es violenta y de ninguna forma natural.

»Por lo demás, Aristóteles hizo la crítica de estas doctrinas partiendo de los hechos que los sentidos perciben en todo movimiento; concluyó que había un movimiento natural en todos los cuerpos, incluso (en los que van) hacia arriba, puesto que allí donde una cosa es movida por fuerza es movida más rápidamente cuando es más pequeña que cuando es grande; además, todo lo que es movido por fuerza es más rápido en su movimiento cuando éste comienza; pero cuando el *impetus* que lo mueve desaparece, su movimiento se detiene igualmente, y un movimiento natural le sucede; éste, por el contrario, es más lento al principio, pero crece progresivamente y hacia el final se hace más rápido; pues lo que es llevado a alguna parte por fuerza se mueve a partir de allí según su naturaleza. Ahora bien, vemos que en el movimiento de los elementos, por ejemplo en aquél con el que desciende la tierra, el movimiento es tanto más rápido cuanto mayor es la masa. También vemos que la tierra se mueve más lentamente al comienzo que después; que se mueve con mayor rapidez cuando llega al final del movimiento y que, por último, al llegar al centro ya no se mueve a menos que sea forzada a hacerlo; pasa lo mismo con las cosas que se llevan hacia arriba. Diremos, pues, que esos cuerpos no se mueven por presión o extrusión ni, en definitiva, por alguna otra fuerza, sino por naturaleza.

»Se podría, sin embargo, decir que Aristóteles demuestra muy bien, frente a los antiguos filósofos, que este movimiento es natural y también al final más rápido. Pero esto de ninguna manera nos da a conocer la causa de los fenómenos en cuestión. Esta está, pues, por investigar. Es esto algo de lo que se ha tratado mucho, y existen sobre ello siete teorías diferentes. En cuanto a la causa aducida por Aristóteles, fue rechazada por ser poco convincente.

»En efecto, Hiparco (de acuerdo con lo que nos dice Simplicio, en cierto opúsculo donde estudia particularmente el pro-

blema) pensaba que el elemento natural es más rápido al final porque al comienzo de su movimiento el móvil es estorbado por una fuerza extraña, de donde resulta que no puede ejercer su poder originario, por cuyo motivo se mueve perezosamente; más tarde, cuando poco a poco esa fuerza extraña y exterior se desvanece, el poder natural se restablece, y en cierto modo, liberado de trabas, actúa con mayor eficacia. Es éste el modo en que los cuerpos aceleran progresivamente su velocidad, proceso comparable al del enfriamiento del agua previamente calentada y luego alejada del fuego. En realidad, al principio se enfría insensiblemente, y parece que casi no hace ningún progreso, pero cuando el calor se debilita, el agua recobra su antigua facultad, se enfría más rápidamente y, en fin, llega tan lejos que acaba por estar mucho más fría que lo que lo había estado antes de su calentamiento. Al parecer, el mismo Aristóteles no rechazó esta doctrina, puesto que sobre tales hipótesis se apoya para investigar las causas del granizo, probándolas con las experiencias de los pescadores.

»Alejandro objeta a Hiparco lo siguiente: existen dos razones por las cuales los elementos se dirigen a sus lugares propios: primeramente, el hecho de que reciben el lugar al mismo tiempo que la forma, es decir, que el lugar pertenece a su constitución; seguidamente el hecho de que no están allí y son retenidos fuera de su lugar (como es el caso del fuego dentro de la región de la tierra); la supresión de las trabas que los retienen fuera de sus lugares constituye pues una segunda causa del movimiento. La aceleración se explica por el hecho de que cuando son engendrados en un lugar que no es el suyo no pueden ejercer su facultad originaria, porque son imperfectos, pero una vez que el *impedimentum* es superado, ¿qué es lo que les impide precipitarse a él según el *summum* de su naturaleza?

»Quizá sea un buen argumento contra Hiparco, pero de ninguna manera se opone a nuestra posición, porque el impedimento está presente hasta que los elementos estén en sus propios lugares, y cuando aquél queda completamente eliminado no se mueven sino que reposan en sus propios lugares.

»No sé lo que otros pensaron de esto; sin embargo son muchos los que acabaron por adoptar esta doctrina.

»El mismo Simplicio admite que la velocidad aumenta debido a que la resistencia del medio es menor hacia el final del movimiento que al comienzo; porque el móvil cuyo movimiento se acerca a su fin no tiene que franquear sino una parte mínima del medio, que le ofrece menos resistencia. La condición de las virtudes que posee la materia es tal que, en igualdad

de condiciones, son más recias en los cuerpos más grandes; ahora bien, el medio resiste al movimiento; incluso ésta es la causa de que en el cambio de lugar se emplee tiempo, y ya señalamos anteriormente por qué allí donde el medio se encuentra más rarificado la velocidad es mayor, y por qué en el vacío no habrá movimiento. No obstante, la causa alegada por Simplicio no es la que da Aristóteles, quien dice que si la velocidad aumenta al final del movimiento es debido a la adición de la gravedad, y no al hecho de que sólo quede una pequeña parte del medio por franquear. Pero como este es un pasaje controvertido no haremos uso de él —lo que sería una petición de principio—, y les opondremos el argumento siguiente: al cuerpo mayor *ceteris paribus*... le resiste más el aire que al más pequeño.

»El aire resiste pues más al cuerpo mayor que al cuerpo menor, y sin embargo el cuerpo grande desciende más deprisa que el pequeño. Luego la resistencia del medio no puede ser la causa de que el movimiento sea más débil al comienzo. Y como la causa que interviene cuando el movimiento es violento es la misma que cuando es natural, a saber, la disminución del medio que falta por franquear, habrá de producir el mismo efecto. Pues bien, como la experiencia no lo confirma sino que muestra más bien lo contrario, no es creíble que ésta sea la causa que hace que el movimiento natural aumente al final.

»En los intérpretes latinos[62] leemos que algunos pensaron

---

[62] F. Bonamici, *De motu*, l. IV, cap. XXXVIII, pp. 412 ss.: «*Latinorum sententie de cremento naturalis motus in fine ex ordine recitantur.* Apud Latinos interpretes legimus opinatos fuisse nonnullos aerem a motu calefieri: calefactum vero fieri rariorem: ob id cedere facilius iis quae per ipsum moventur, inde consequi unde quo longius aliquid moveatur, quia magis calefiat medium, et quoque rarefiat magis atque magis, subinde afficiatur ad rarefactionem. Quare per ipsum promptius, expeditius et denique velocius obiri possit motus. Ceterum etiam multo velocius in processu sagitta movebitur: praesertim si ex motu concalefacta fuerit, quam, si plumbea sit; ita excalefieri testatur Arist. ut eliquescat: nihilosecius eo segnius assidue movetur.

Praeterquam quod his mihi videntur ordinem naturae prorsus pervertere. Nam prius est motus quam calefactio medii; ipsi tamen priorem faciunt rarefactionem quam motum, et idcirco ponunt effectum qui suae caussae natura praecedat, quo certe nihil ineptius.

Tribuunt complures huiuscemodi eventi caussam viribus ipsius loci quas tamen interpretes non eodem modo omnes accipiunt, sed duobus modis ipsos de viribus loci differere comperimus. Aliqui, quemadmodum supra nos constituimus quia locus habeat vim conservandi mobile: omnia vero appetitu naturali suam ipsorum conservationem quaerant: ex hoc effici ut plantae et animalia magis hoc quam illo coelo fruantur; is autem esse debet huius modi, ut partim similis sit, ut ab eo locati materia conservetur partim contrarius ut emendetur exuperantia.

Sic unumquodque elementum cum illo cui contiguum est, in altera qualitate convenit, in altera vero differt, quod sane ab Averroë videtur,

que el aire se calienta por el movimiento, que al calentarse se rarifica y que por lo mismo cede más fácilmente a las cosas que se mueven a través de él; de donde se deduce que cuanto más tiempo se mueve una cosa, más calienta el medio y más lo rari-

exceptum qui locum appeti dicebat a mobili, tanquam finem motus et quod in ipso sit eius quies. Alii dicunt in loco vim inesse trahendi mobile, quemadmodum est in magnete vis attrahendi ferrum. At ut aliqua contra posteriores dicamus. Nonne quo maius est corpus, eo quoque magis viribus attrahentis resistit? Utique. Ergo maiora descenderent tardius quam minora. Neque item ex quacunque distantia moveretur gleba terrae, sicuti nec ex quacumque distantia ferrum moveri potest a magnete, cuiusque enim facultatis naturalis robur finitum est. Quare nec ullum esset robur Aristotelicarum rationum quibus acceptum est, e centro alterius mundi, quantumvis distaret ad centrum nostri ferri posse terram. Neque. n. moveretur huc nisi trahendi facultas, quae inest in medio nostri, posset eo pervenire. In caeteris vero, nisi per certum spatium procedere non apparet; in quibuscum eveniat id nisi ratio varietatis efferri possit, idem omnino iudicium faciendum sit. Et quamvis antea docuerimus quantum sit illi rationi tribuendum; tamen valeat apud eos, qui vim loco undecunque trahendi concedunt.

Quod si propensionem adieceris; iam tecum ipse confliges.

Contra Averroëm invehuntur nonnulli, quanquam argumento fallaci, dicentes, quo magis caret res, eo quoque magis appetere. Sed tum caret magis, ubi longius absit quam ubi prope. Ubi igitur aberit longius ipsa res a suo loco, suaque forma tanto quoque citius eo properabit, atque perveniet. Sed certe non vident isti, appetitum, qui caussa motus est, esse maiorem in ea materia, quae propinquior est, quam in illa, quae longius a fine abest. Nam sicuti planta non appetit visum, neque talpa desiderat lumen, homo autem si fuerit caecus, appetit maxime, quia prope est, ut videat; sic materia, nisi bonum experiatur quod ipsi per affectiones praevias offert efficiens, illud non appetit. Tum magis appetit, quo magis ipsi obiicitur, tum vero obiicitur; magis, quo magis affecta, et provecta est in potentias propinquiores. Nec secus accidit, ut mea fert opinio, ac in amatoribus qui puellam expectantes, quo vicinior est hora, magis anguntur et hora una pro longissimo tempore habetur. Nec ab huiusmodi sensu abhorret iudicium Arist. quod item in iis qui usu comparantur, profectum in forma docet habilius reddere subiectum ad motum; tanto magis in natura; quanto etiam subiectum habet in seipso propensionem. Semper, n. bene mobilior, inquit, ad virtutem fit etiam quodcunque incrementum sumpserit a principio.

Nec video quemadmodum auctores huius rationis evitare possint, quin ab initio cum maior adsit potestas; velocius etiam concitentur, sed imprudentes in eo lapsi sunt, quod parem gradum privationis et potentiae fecerint, tametsi una existunt. Et illud plane verum ab initio plus privationis inesse, sed minus potestatis; in progressu amplificari potentiam, quia privatio minuatur et ut alibi ostendetur commutant latitudinem potestatis cum gradu: maius est. n. ab initio motus spatium potestatis, ut in summe calido ad frigidum ut octo, in processu maior gradus: nam facilius summe frigidum fiet quod frigidum est, ut quinque, quam summe calidum, amplificatur ergo potestas atque propensio non propter latitudinem, sed propter gradum. Ideo tantum huic tribuatur argumento quantum quisque patitur. Quam ob rem veniamus ad alia.

Quam vero nonnulli putant, efficacitatem universam esse tribuendam gradui formae, non autem multitudini materiae (quanquam nos ita non

fica y lo hace además más apto para la rarificación, por cuyo motivo el movimiento se puede realizar cada vez más fácilmente y por consiguiente más rápidamente. De este modo, la flecha se moverá con mucha mayor rapidez al avanzar, sobre todo si

---

credimus) quia par gradus appetitus est in maiore, et minore gleba; necesse item fuerit, utrasque pari gradu concitari, parem vero gradum appetitus in utraque ponere licet, ut si fingantur utraeque in eodem esse gradu perfectionis, aut potestatis. Sed illud apud nos plurimum valet. Quoniam imperfecta est haec opinio, quamvis caussam ab eius auctoribus allatam veram esse concedamus. Neque enim administratur ille motus ab ea caussa solum, sed aliae multae concurrunt praeter finem: efficiens. s. et alia principia per accidens, ut removens impedimentum et ipsa mobilis rei natura quae cuncta motus in actu caussa sunt.

Divus Thomas et post ipsum Albertus Saxon. arbitrati sunt, geminam esse gravitatem, ac levitatem in elementis: alteram sane quam inquiunt esse per se et naturalem atque alteram quam adventitiam reputant, illam inquiunt, sequi vim generantis et in proprio loco servari, hanc in processu motus acquiri ex eoque fieri, ut maiore impetu moveantur in processu corpora naturalia. Rem vero sic esse persuadent experientiis illis, quae supra a nobis allatae sunt, cum doceremus etiam in absentia moventis adhuc in mobili conservari vim quandam a qua mobile concitetur, ac si primum movens adesset. Igitur intermisso primi moventis impulsu fit adhuc motus, non ob aliud, nisi quod etiam superest in ea vis quaedam, propter quam eodem motu cietur quo pridem movebatur. Verum quoque aliena est illa vis et adsciticia, remittitur assidue, sed in iis, quae secundum naturam moventur, amplificatur: idcirco velocius agitantur. Ita quando nos cursum maiore quodam nixu arripuimus, etiam in eius fine vix continere nos possumus.

Quod si quis interroget auctores huius opinionis: undenam proficiscatur, et quid impetus iste sit. Ad hoc respondent ipsum esse qualitatem quandam, atque illam quidem potestatem quippe potestatem ad motum, ad illud vero dicunt; eam a forma comparari per motum. Attamen in exponenda quaestionis huiusce caussa videntur ipsam iterum cum effectu commutare: quaeritur. n. caussa velocitatis in motu; eam vero dicunt ipsi facultatem esse, atque habilitatem, si rursus eos interroges, undenam habilitas ista proficiscatur; aiunt a motu, hic autem, aut accipitur, quatenus velox, aut simpliciter, quod si simpliciter accipiatur: ergo motus ipsemet erit sibi caussa suae velocitatis, quod si quia velox. Erit igitur caussa, quam tamen ipsi quaestioni pro effectu supponunt.

Inter iuniores Lud. Buccaf. statuit mobile agitare et quasi impellere medium ea ratione quia primam medii partem commoveret, atque propelleret. Haec vero postea contiguis suum motum communicaret. Ab his autem ita commotis mobile ipsum ferri. Quoniam vero mobili prevenerit, reddere motum eius faciliorem. Sed cum in fine motus impetus maior a mobili comparatus sit, aër etiam magis affectus ad excipiendum motum: hinc fieri ut velocior ille motus in fine reddatur.

Addunt alii praeter haec aëris illius impulsum qui iugiter mobili succedens ipsum magis expellit, ideoque effici, ut eius motus sit velocior, corrogant hic more consueto loca multa ex Arist. cum ex 8 Phys. tum etiam ex 4 de Coelo, quibus de hoc impulsu mentio facta est, ut opinionem suam confirment. Quoniam vero contra faciunt verba contextus Aristotelici quibus significatur ex additione gravitatis fieri motum velociorem in fine; respondent hanc non esse veram mentem Aristotelis, sed eum ita pro hominum vulgique opinione fuisse locutum, neque ullo

se calienta por el movimiento. Ahora bien, según el testimonio de Aristóteles, se calienta de tal forma que si fuera de plomo se fundiría; y sin embargo se mueve, disminuyendo su velocidad continuamente.

»Todo eso me parece pervertir el orden de la naturaleza, pues el movimiento es *anterior* al calentamiento del medio, y los que mantienen la opinión enunciada consideran la rarefacción *anterior* al movimiento, y así establecen un efecto que por naturaleza precede a la causa; nada hay, sin duda, más necio.

»Varios intérpretes atribuyen la causa de los efectos de este género a las fuerzas del lugar en sí; no obstante, no las conciben de la misma forma, sino que vemos que explican esas fuerzas del lugar de dos maneras distintas. Algunos —como ya dijimos— estiman que el lugar posee la fuerza de conservar el móvil. Ahora bien, por apetencia natural todas las cosas buscan su conservación, y por esta razón los cuerpos buscan su lugar natural, por ser el más favorable a su ser...

»Otros dicen que en el lugar se encuentra una fuerza que atrae al móvil, como en el imán la fuerza que atrae al hierro. Pero, por decir algo contra estos últimos, ¿no es verdad que cuanto mayor es el cuerpo más resiste a la fuerza de atracción? Sin duda. Por consiguiente, los mayores deberían descender más lentamente que los menores. Tampoco una masa de tierra podría moverse más allá de una cierta distancia, como no puede mover el imán al hierro más allá de una cierta distancia, porque el poder de una facultad natural es finito. Esta opinión, además, destruiría la fuerza de los argumentos aristotélicos en virtud de los cuales se admite que desde el centro de otro

---

modo recipiunt auctoritatem Aristotelis in eo loco. Caeterum de loci illius veritate mox: interea monstremus eam esse falsam quam ipsi profitentur. Primum. n. in idem absurdum videntur incidere, atque D. Thomas et Albertus, qui impetum illum adventitium caussam esse velocitatis asseverant, nam cum effectu caussam commutant: siquidem velint impulsum aëris huiusce rei caussam esse, qui quidem fit a mobili. At quearere licet, undenam mobile vim habeat impellendi aërem et magis impellendi, quo longius fertur. Et cum maior impulsus sit ex maiore velocitate, caussa igitur eius eventi non erit impulsus, ut aiunt, sed velocitas. Et quomodocunque erit gravitas quam ipsi repudiant, nam quod velocius agitur, est gravius quod item medium magis opprimatur est ex gravitate, quae item magis operabitur in eo subiecto quod est grave aut leve simpliciter, quam in eo quod est tale quodammodo. Verum sit haec adscititia quaedam velocitas, seu gravitas. cur in processu non minuitur? Accedit eodem quod pari pacto pellunt partes medii quo pellantur, et minus in progressu quod magis distant a virtute movente: naturale. n. movens in progressu debilitatur, nisi afficiat ad formam, quod sane huic adscititiae virtuti non conceditur.

mundo, por alejado que estuviera, la tierra se dirigiría hacia el centro del nuestro, pues no se movería a menos que la facultad de tracción que está en el medio del nuestro pudiera llegar allí... Ahora bien, aunque el valor de este argumento no sea grande, es válido, sin embargo, contra quienes conceden al lugar una fuerza de atracción.

»Si añades la propensión, te refutas a ti mismo.

»Algunos objetan a Averroes —aunque alegando un argumento falaz— que lo que más se echa de menos es lo más deseado. Pero el lugar se echa más de menos cuando se está lejos de él que cuando se está cerca. En efecto, cuanto más lejos de su lugar y de su forma está una cosa, más rápido avanza y se dirige a ellos. Pero, en verdad, aquellos que razonan de este modo no ven que la apetencia, que es la causa del movimiento, es mayor en la materia que está más cerca de la meta que en la que está más lejos. Así, la planta no desea la vista, ni el topo la luz, mientras que el hombre, si estuviera ciego, las desearía sobre todas las cosas, porque está cerca de la visión; igualmente la materia no desea un bien que no pueda experimentar, y entre aquellos que puede experimentar desea los que tiene más cerca. A mi entender, con esto pasa exactamente lo mismo que con el amante que aguarda a su amada y que, cuanto más se aproxima la hora, más la desea, de tal forma que una hora le parece un tiempo muy largo...

»No veo cómo los autores de esta teoría podrían evitar la conclusión de que, puesto que la potencia (motriz) es mayor (al principio) del movimiento (los cuerpos) deben moverse más rápidamente (al principio); de hecho, cometen el error de confundir los grados de la privación con los de la potencia, como si estuvieran ligados en un todo. Es verdad que al comienzo hay más privación, pero en cambio hay menos potencia (activa), y luego la potencia se amplía, mas la privación decae. Así, como se mostrará en otra parte, confunden la latitud de la potencia con el grado; en efecto, la latitud de la potencia es mayor al principio del movimiento (cual la distancia entre lo sumamente caliente y el frío de ocho grados), pero el grado de potencia es mayor luego, pues lo que está a cinco grados de frío se vuelve sumamente frío con mayor facilidad que lo que está sumamente caliente; de modo que la potencia y la propensión aumentan no según la latitud, sino según el grado...

»Pasemos ahora a otros argumentos.

»Algunos piensan que, en general, la eficacia debe ser atribuida al grado de la forma, y no a la cantidad de la materia (lo que *nosotros* no creemos), ya que el grado de apetencia es

el mismo tanto en el pedazo más o menos grande; de aquí resultaría, entonces, que los dos cuerpos deberían moverse necesariamente con el mismo grado (de velocidad), pues se puede poner en cada uno el mismo grado de apetencia como si estuviesen en el mismo grado de potencia o de perfección. Esto es lo que importa. Sin embargo, aunque la causa alegada por sus autores nos parece cierta, esta teoría es imperfecta, ya que la velocidad no está determinada sólo por esa causa sino que igualmente contribuyen a ella muchas otras, además del fin; a saber, la causa eficiente, y otros principios también, como la supresión del obstáculo y la naturaleza misma del móvil; todas estas causas devienen, por accidente, causas del movimiento.

»Santo Tomás, y después de él Alberto de Sajonia, pensaron que en los elementos hay una gravedad y una levedad dobles: una que consideran *per se* y natural, y otra que estiman adventicia. Esta, dicen, resulta de la potencia generatriz y conserva al objeto en su propio lugar; aquélla se adquiere en el proceso del movimiento y gracias a ella los cuerpos naturales se mueven con un *impetus* que aumenta progresivamente. Y que en verdad es así lo demuestran por las experiencias que hemos alegado antes, en especial cuando mostramos que incluso a falta de motor se conserva cierta fuerza en el móvil, por la cual éste es empujado como si el primer motor estuviera presente. A ello se debe que, a falta del impulso del primer motor, el movimiento se efectúe únicamente porque en el móvil queda cierta fuerza, merced a la cual se mueve con el mismo movimiento que anteriormente. Sin embargo, no hay duda de que esta fuerza es ajena y adventicia y que se agota continuamente; pero en las cosas que se mueven según la naturaleza aumenta y, por eso, éstas van más rápidamente...

»Si se pregunta a los autores de esta teoría de dónde proviene y qué es el *impetus*, a esto último responden que es una cierta gravedad y una verdadera potencia, precisamente la potencia de mover; en cuanto a la primera pregunta, responden que proviene de la forma por el movimiento. Sin embargo, parece que en el estudio de esta cuestión los partidarios de esta opinión confunden una vez más la causa con el efecto. Se busca la causa de la velocidad en el movimiento, y dicen que tal causa es una facultad o aptitud, pero si, a la inversa, se les pregunta de dónde proviene esa aptitud contestan que del movimiento. Ahora bien, éste es considerado bien como rápido, bien simplemente como movimiento; si se le supone *simpliciter*, el movimiento mismo será la causa de su propia velocidad; y ocurre igual si se le supone rápido. Una vez más se supone como causa

lo que en esta cuestión ellos mismos suponen que es un efecto.

»Entre los modernos, Ludovico Buccafiga [Boccadiferro] estima que el móvil pone en movimiento y, en cierto modo, presiona a todo el medio, de la misma manera que pone en movimiento y empuja a la primera parte del medio. Esta, después de ello, comunica su movimiento a las partes contiguas, y una vez puestas en movimiento el móvil es llevado por ellas. Y como preceden al móvil, el movimiento de éste se hace más fácil. Pero como al final del movimiento es mayor el *impetus* que anima al móvil, el aire es también más apto para recibir el movimiento. De donde resulta que el movimiento se vuelve más rápido hacia el final.

»Otros añaden además el impulso del aire que, al seguir continuamente al móvil, lo expulsa, lo que hace que su movimiento sea más rápido. Esto se confirma habitualmente recurriendo a numerosos pasajes de Aristóteles, extraídos tanto del libro octavo de la *Física* como del cuarto del *De Coelo*, donde se menciona este impulso. Sin embargo, el contexto de Aristóteles se opone a esta interpretación, puesto que dice que el movimiento se vuelve más rápido al final debido a la adición de la gravedad; a esto responden que ese no es el verdadero pensamiento de Aristóteles, que al hablar así lo hizo sólo para el vulgo, y sobre este punto no aceptan la autoridad de los textos de Aristóteles. Por lo demás, trataremos en su lugar acerca de la verdad de estos pasajes. Mientras tanto vamos a demostrar que la doctrina que enseñan es falsa. Porque, para empezar, nos parece que caen en el mismo absurdo que santo Tomás y Alberto, quienes admiten el *impetus* adventicio como causa de la velocidad, es decir, confunden el efecto con la causa: efectivamente, hacen del impulso del aire la causa de la velocidad, aunque este impulso provenga del móvil. Además, hay que preguntarse de dónde sacan los móviles la fuerza para empujar el aire, y empujarlo tanto más cuanto más tiempo se mueven. Pues bien, como el mayor impulso viene de una mayor velocidad, la causa de este fenómeno no será entonces el impulso, como dicen ellos, sino la velocidad. Y, en último término, la causa será la gravedad, que ellos repudian, ya que lo que se mueve más rápidamente es más pesado, y si el medio está más oprimido, lo está por la gravedad, que actuará más aún sobre el objeto que es grave o leve *simpliciter*, que sobre el que lo es únicamente de cierta manera. En realidad, si esta gravedad o velocidad es sólo adventicia, ¿por qué no disminuye progresivamente? Añádase a ello que las partes del medio empujan tanto como son empujadas, y esto tanto menos cuanto más alejadas están de la virtud mo-

triz. Ciertamente, un motor natural se debilita de manera progresiva, a no ser que conduzca al objeto a su forma, lo que, sin duda, no es el caso de esta virtud adventicia.»

Bonamico explica a continuación por qué el fenómeno del viento no se opone a esta proposición[63], lo que pasa es que el viento es algo muy complejo y se compone del movimiento del aire y del de las exhalaciones, que es la verdadera causa de la velocidad del viento. Por eso considera que, en general, el *impetus* adventicio no puede explicar la aceleración, puesto que resulta de ella y, por el contrario, hay que admitir uno que esté en el móvil antes de todo movimiento. «Además, ¿acaso no rechaza Aristóteles las afirmaciones de quienes suponen que es el impulso el que hace al movimiento más rápido, porque en ese caso la velocidad disminuiría al final y de ningún modo aumentaría, y porque un móvil menor sería arrastrado más fácilmente que otro mayor? Parece, por lo tanto, que la gravedad es la causa de la velocidad, ya que lo que es más pesado cae más rápidamente. Y si en más de una ocasión Aristóteles sitúa este impulso en el aire es porque de éste se sirve la naturaleza para el movimiento de los proyectiles; pero aquí tratamos del movimiento natural. Por consiguiente, concluyo que, al intentar sostener que el movimiento pertenece al elemento *per se,* dan al movimiento una causa que mueve por accidente: en efecto,

[63] *Ibid.*: «Obiicies hic ventos qui vires acquirunt eundo, et velociores vehementioresque fiunt. An eius eventi caussa non habet locum in elemento; siquidem eius motionis quam vulgus ventum vocat, duae sunt partes, prima quae vere ventus est, exhalatio videlicet, quae propter diversa principia motus agitud in latus et quodammodo praeter naturam. Altera est aër contiguus et movetur quidem aër ea velocitate qua cietur exhalatio et in principio vehementius; eius signum quod apud nos dic prima boreae sunt vehementiores: at vero propter continuitatem aëris in progressu multae partes eius concitantur; itaque maior est motus, neutiquam tamen velocior nisi forte in angustum contrahantur, cumque contineri nequeant magno impetu erumpant, aut quod cum in angusto parva materiae copia consistat, ab eadem vi vehementius agatur. Nom igitur aër commotus agit velocius exhalationem, sed ab ea semper agitur. Ergo etiam et in motu elementi non magis agent elementum, quam ab ipso agatur. Quam ob rem impetus in mobili praecedat oportet. Praeterea nonne reiicit Aristoteles illorum dicta qui putant impulsum facere motum velociorem, quod in fine langeret, non autem augeretur et quia facilius impelleretur mobile minus, quam maius? Videtur etiam gravitas esse caussa velocitatis, quoniam id quod gravius est, fertur velocius. Quod sicubi impulsum illum in aere collocavit Arist. ille est quo natura utitur in motu proiectorum: at nos de motu naturali nunc agimus. Mitto quod dum student defendere motum illum in elemento per se inesse, caussam faciunt quae moveat per accidens: volunt enim mobile a medio ferri: atqui haec est vectio; ea vero est motus per accidens. Ita fit ut cum ab Aristotele discedere cupiunt, turpissime quoque labantur.»

quieren que el móvil sea movido por el medio. Ahora bien, es una traslación y ésta es un movimiento por accidente. Por ello, cuando quieren alejarse de Aristóteles, incurren en el error.»

La hermosa exposición de Bonamico nos ofrece un cuadro instructivo de las dificultades y de las críticas con que tropezaba la física aristotélica. Pero tal exposición no siempre es muy exacta[64], ni muy completa[65]; ni en lo que respecta a la Edad Media ni en lo que respecta a los modernos. Pues si menciona a Buccafiga [Boccadiferro] y copia a Scaligero[66], no dice nada ni de Tartaglia ni de Cardano, ni siquiera de Benedetti. Porque si en rigor puede admitirse que Cardano (que en diferentes obras adopta dos puntos de vista contradictorios) e incluso Tartaglia no aportaron gran cosa a la física del *impetus*, no se puede decir lo mismo de Benedetti, al que habremos de consagrar alguna atención.

III. LA FISICA DEL «IMPETUS»: BENEDETTI

Giovanni Battista Benedetti[67] es un resuelto partidario de la física «parisiense». Como sus predecesores, estima que la teoría aristotélica del lanzamiento no tiene valor alguno. Así, nos dice[68],

---

[64] Por ejemplo, atribuye a Santo Tomás, aristotélico de la observancia más estricta (Cf. *Comment, in quattuor libros de Coelo*, lib. III, lect. 7), las doctrinas de Alberto de Sajonia.

[65] Las discusiones medievales sobre la naturaleza del movimiento y de la aceleración son de una riqueza y una complejidad mucho más grande que lo que Bonamico deja suponer. Cf. las obras citadas *supra*, pp. 6 y 11.

[66] El pasaje sobre la rueda pequeña que gira en una cavidad orbicular está tomado textualmente de J. C. Scaligero, *Exotericarum exercitationum liber XV, De subtilitate ad Hieronimum Cardanum*, Lutetiae MDLVII, *exercitatio*, XXVIII, *De motu projectorum*. Cf. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, p. 200.

[67] G. B. Benedetti es relativamente mejor conocido que sus contemporáneos y predecesores. Cf. K. Lasswitz, *Geschichte des Atomismus*, vol. II, páginas 14 ss.; G. Vailati, «Le speculazione di Giovanni Benedetti sul moto de gravi», en *Rendiconti dell'Academia Reale delle Scienze di Torino*, 1897-1898, reproducido en *Scritti*, Leipzig-Florencia, 1911; E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etcétera, vol. XV, pp. 394 ss.; *G. Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre*, vol. I, pp. 111 ss.; P. Duhem, *De l'accélération produite par une force constante*, Congreso Internacional de Historia de las Ciencias, tercera sesión, Ginebra, 1906, pp. 885 ss.; *Etudes sur L. de Vinci*, vol. III, pp. 214 ss.; G. Bordiga, «G. B. Benedetti», en *Atti de R. Istituto Veneto*, 1925-1926.

No obstante, si bien es mejor conocido, no lo es lo suficiente. Por ello hemos creído necesario consagrarle algunas páginas.

[68] G. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physi-*

«Aristóteles, al final del libro octavo de la *Física*, estima que el cuerpo movido por la fuerza y separado del primer motor se mueve o es movido durante algún tiempo por el aire, o por el agua, que le sigue. Lo que no es posible, pues el aire que, huyendo del vacío, penetra en el lugar abandonado por el cuerpo, no sólo no empuja al cuerpo sino que más bien lo retiene; en efecto [cuando se produce tal movimiento], el aire es rechazado por la fuerza por el cuerpo y separado por él de su parte delantera; por eso se resiste a él; además, cuanto más condensado está el aire en la parte anterior, más se rarifica en la parte posterior. De modo que al rarificarse violentamente no permite avanzar al cuerpo con la misma velocidad con la que se lanzó, pues todo agente padece al actuar. Esta es la razón de que, cuando el aire es arrastrado por el cuerpo, el propio cuerpo sea retenido por el aire. Porque esta rarificación del aire no es natural, sino violenta; y por esta razón se resiste a él, y atrae al móvil hacia sí, pues la naturaleza no soporta que haya vacío entre uno y otro (es decir, entre el móvil y el aire); por eso están siempre contiguos, y como el móvil no puede separarse del aire, su velocidad resulta entorpecida».

De modo que no es la reacción del medio lo que explica la velocidad disminuida del proyectil; muy al contrario, esa reacción sólo puede entorpecerla. En cuanto al movimiento en sí, ya sea violento o natural, se continúa explicando como una fuerza inmanente al móvil [69]. «Todo cuerpo grave, ya se mueva

---

carum liber, Taurini, 1585, p. 184: «Aristoteles in fine. 8. physicorum sentit corpus per vim motum et separatum a primo movente, moveri aut motum esse per aliquod tempus ab aere, aut ab aqua, quae ipsum sequuntur. Quod fieri non potest, quia imo aer, qui in locum desertum a corpore subintrat ad fugandum vacuum, non solum hoc corpus non impellit, sed potius id cohibet à motu, quia aer per vim a corpore ducitur retro, et divisus a parte anteriori a dicto corpore, resistit similiter et quantum dictus aer in dicta parte condensatur, tantum in posteriori rarefit, unde per vim sese rarefaciens non permittit, ut dictum corpus cum ea velocitate fugiat, cum qua aufugeret, quia omne agens in agendo patitur. Quam ob rem cum aer a dicto corpore rapiatur, corpus quoque ipsum ab aere rapitur. Huiusmodi autem rarefactio aeris naturalis non est, sed violenta; et hanc ob causam resistit, et ad se trahit, sed non sufferente natura, ut inter unum et aliud ex dictis corporibus reperiatur vacuum; idcirco sunt haec semper contigua et mobile corpus aerem deserere cum nequeat, eius velocitas impeditur. Huiusmodi igitur corporis separatim a primo movente velocitas oritur quadam naturali impressione ex impetuositate recepta à dicto mobili, quae impressio et impetuositas, in motibus rectis naturalibus continuo crescit, cum perpetuo in se causam moventem, id est propensionem eundi ad locum ei à natura assignatum habeat.»

[69] G. B. Benedetti, *Ibid.*, p. 286: «*Epistola*, Illustr. Joanni Capra Novarensi Sabaudiae Ducis..., *De revolutione rotae putealis et aliis problematibus*. Omne corpus grave, aut sui natura, aut vi motum, in se recipit im-

natural o violentamente, recibe en sí un *impetus*, una impresión de movimiento, de forma que, separado de la virtud motriz, continúa moviéndose por sí mismo durante cierto tiempo. Por tanto, cuando el cuerpo se mueve con un movimiento natural su velocidad aumenta sin cesar; efectivamente, el *impetus* y la *impressio* que existen en él crecen sin cesar, ya que está constantemente unido a la virtud motriz. De esto también se desprende que si, después de haber puesto la rueda en movimiento con la mano, se retira ésta, la rueda no se detiene inmediatamente, sino que continúa girando durante cierto tiempo.»

¿Qué es este *impetus*, esta fuerza motriz, causa del movimiento inmanente al móvil? Es difícil de decir. Es una especie de cualidad, potencia o virtud que se imprime al móvil, o mejor dicho, que lo impregna, a consecuencia de su asociación con el motor (que la posee) y debido a su participación en el movimiento y a consecuencia de ella. Es también algo así como un *habitus* que adquiere el móvil, tanto más cuanto *más tiempo* está sometido a la acción del motor. Así, por ejemplo, si una piedra lanzada por la honda llega más lejos que la arrojada con la mano, se debe a que la piedra sufre en la honda *numerosas* revoluciones, lo que la *«impresiona»* más...[70].

«He aquí la verdadera razón por la cual un cuerpo grave es lanzado más lejos por la honda que por la mano[71]: cuando da

---

pressionem et impetum motus, ita ut separatum a virtute movente per aliquod temporis spatium ex seipso moveatur; nam si secundum naturam motu cieatur, suam velocitatem semper augebit, cum in eo impetus et impressio semper augeantur, quia coniunctam habet perpetuo virtutem moventem. Unde manu movendo rotam ab eaque; eam removendo, rota statim non quiescet, sed per aliquod temporis spatium circunvertetur»; cf. el texto citado *supra, in fine* y p. 184, cap. XXIV. «*Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis. Idem vir gravissimus an bene senserit de motibus corporum violentis et naturalibus*: Huiusmodi igitur corporis separatim a primo movente velocitas oritur a quadam naturali impressione, ex impetuositate recepta a dicto mobili.»

[70] *Ibid.*, p. 160.

[71] G. B. Benedetti, *Ibid. De Mechanicis*, cap. XVII, p. 160: «Vera ratio cur multo longius corpus aliquod grave impellatur funda, quam manu, inde oritur, quod circumvolvendo fundam, maior impressio impetus motus fit in corpore gravi, quam fieret manu, quod corpus liberatum deinde cum fuerit a funda, natura duce, iter suum a puncto, a quo prosiliit, per lineam contiguam giro, quem postremo faciebat, suscipit. Dubitandumque non est, quin dicta funda maior impetus motus dicto corpori imprimi possit, cum ex multis circumactibus, maior semper impetus dicto corpori accedat. Manus autem eiusdem corporis motus, dum illud ipsum circumvolvitur (pace Aristotelis dixerim) centrum non est, neque funis est semidiameter. Immo manus quam maxime fieri potest in orbem cietur; qui quidem motus in orbem, ut circumagatur etiam ipsum corpus, cogit, quod quidem corpus, naturali quadam inclinatione, exiguo quodam impetu jam incepto vellet

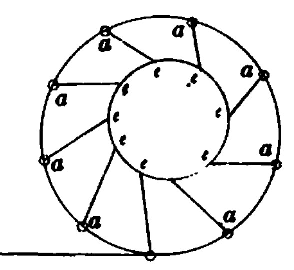
vueltas en la honda, el movimiento produce en el cuerpo grave una mayor impresión del *impetus* de lo que lo haría la mano; de tal forma que el cuerpo liberado de la honda, guiado por la naturaleza, prosigue su camino en una línea contigua a la última rotación que hizo. Y es indudable que la honda puede imprimir al cuerpo un *impetus* mayor, pues a consecuencia de las numerosas revoluciones el cuerpo recibe un *impetus* cada vez mayor. En cuanto a la mano, mientras hace girar al cuerpo no es el centro de su movimiento (diga lo que diga Aristóteles), y la cuerda no es el semidiámetro.» Lo que quiere decir que la circularidad del movimiento alegada por Aristóteles no viene al caso. Por lo demás, el movimiento circular produce en el cuerpo un *impetus* que le hace moverse en *línea recta*. «Ahora bien, este *impetus impressus* decrece continuamente, y poco a poco se introduce la inclinación de la gravedad, la cual, combinándose con la impresión hecha por la fuerza, no permite que la línea *ab* siga recta durante mucho tiempo; pronto se hace curva, porque el cuerpo en cuestión está movido por dos virtudes, una de las cuales es la violencia impresa, y la otra la naturaleza, en contra de lo que opina Tartaglia, quien niega que un cuerpo cualquiera pueda ser movido simultáneamente por un movimiento natural y otro violento.»

La explicación dada por Benedetti puede parecer, con razón, bastante confusa, lo que, a decir verdad, no debería sorprendernos demasiado: el concepto de *impetus* es realmente muy confuso.

En el fondo, no hace sino traducir a términos «científicos»

---

recta iter peragere, ut in subscripta figura patet, in quae *e* significat manum, *a* corpus, *ab* lineam rectam tangentem girum *aaaa* quando corpus liberum remanet. Verum quidem est, impressum illum impetum, continuo paulatim decrescere unde statim inclinatio gravitatis eiusdem corporis subingreditur, quae sese miscens cum impressione facta per vim, non permittit ut linea *ab* longo tempore recta permaneat, sed cito fiat curva, cum dictum corpus a duabus virtutibus moveatur quarum una est, violentia impressa, et alia natura, contra opinionem Tartaleae qui negat corpus aliquod motibus violento et naturali simul et semel moveri posse. Neque est silentio praetereundus hac in re quidam notatu dignus effectus qui eiusmodi est quod quanto magis crescit impetus in corpore *a* causatus ab augmento velocitatis giri ipsius *e* tanto magis oportet, ut sentiat se trahi manus a dicto corpore *a*. mediante fune, quia quanto maior impetus motus ipsi *a* est impressus, tanto magis dictum corpus *a*, ad rectum iter peragendum inclinatur, unde ut recta incedat tanto majore quoque vi trahit.»



una concepción basada en la experiencia cotidiana, en un dato del sentido común.

¿Qué es, en efecto, el *impetus*, la *forza*, la *virtus motiva*, sino una condensación —si se puede decir así— del esfuerzo muscular y del *impulso?* Por eso se ajusta muy bien a «los hechos» —reales o no— que forman la base experimental de la dinámica medieval, y muy particularmente al «hecho» de la aceleración inicial del proyectil, hecho que explica incluso: ¿no hace falta tiempo para que el *impetus* se apodere del móvil? Por otra parte, todo el mundo sabe que es preciso «tomar impulso» para saltar un obstáculo; que el carro al que se empuja o del que se tira arranca con lentitud y aumenta progresivamente de velocidad: también él toma impulso; y todo el mundo sabe —hasta los niños que juegan a la pelota— que para acertar bien en el blanco hay que situarse a cierta distancia, no demasiado cerca, para que la pelota tome impulso [72].

Impetus, impresión, cualidad o virtud motriz; todo esto es algo que pasa del motor al móvil, y que tras haber entrado en el móvil o haberlo impregnado e impresionado, lo afecta; por eso se opone a otras cualidades o virtudes (y por eso los *impetus* se obstaculizan mutuamente, y es difícil que puedan coexistir en el móvil), aunque sean naturales. Así, como nos lo explica Benedetti en un texto muy curioso, el *impetus* del movimiento violento hace más ligero al objeto en el cual se encuentra [73].

---

[72] Los armeros y los artilleros del Renacimiento, partiendo de la firme convicción de que no pueden coexistir sin entrar en conflicto dos movimientos en un móvil, creían que la bala de cañón (como cualquier proyectil) comienza moviéndose en *línea recta* y que luego, cuando su movimiento o su fuerza motriz se debilita, cae *verticalmente* a tierra, estando las dos partes rectilíneas de la trayectoria unidas por un segmento circular. Tartaglia, quien se había interesado por la balística e incluso había publicado tablas de elevación para el tiro de los cañones, profesa en su *Nuova scienza* (1537) la teoría tradicional, aunque por otra parte proclama que la trayectoria es *sempre curva*. En realidad, fue Galileo y no, como frecuentemente se afirma, Tartaglia, ni siquiera Benedetti, el primero en reconocer claramente que la trayectoria de la bala de cañón se curva desde el principio. Cf. *infra*, pp. 195, 257.

[73] G. B. Benedetti, *Ibid.*, p. 285: «De motu molae et trochi, de ampullis aquae, de claritate aeris et Lunae noctu fulgentis, de aeternitate temporis et in finito spacio extra coelum, coelique figura. *Illustr. Ioanni Paulo Capra Novarensi Sabaudiae Ducis Hospicij Magistro...* Quaeris a me litteris tuis, an motus circularis alicuius molae molendinarie, si super aliquod punctum quasi mathematicum, quiesceret, posset esse perpetuus, cum aliquando esset mota, supponendo etiam eandem esse perfecte rotundam et levigatam. Respondeo huiusmodi motum nullo modo futurum perpetuum, nec etiam multum duraturum, quia praeterquam quod ab aere qui ei circumcirca aliquam resistentiam facit stringitur, est etiam resistentia partium illius

«De la inclinación de las partes de los cuerpos redondos al movimiento rectilíneo se desprende que un trompo que gira alrededor de sí mismo con gran violencia, queda, durante cierto tiempo, casi recto sobre su punta, sin inclinarse más de un lado que del otro hacia el centro del mundo, porque, en tal movimiento, cada una de sus partes no tiende única y totalmente hacia el centro del mundo, sino que, más bien [tiende a moverse] perpendicularmente a la línea de dirección, de tal forma que ese cuerpo debe permanecer recto. Y si digo que sus partes no se inclinan totalmente hacia el centro del mundo, lo digo

---

corporis moti, quae cum motae sunt, natura, impetum habent efficiendi iter directum, unde cum simul iunctae sint, et earum una continuata cum alia, dum circulariter moventur patiuntur violentiam, et in huiusmodi motu per vim unitae manent, quia quanto magis moventur, tanto magis in iis crescit naturalis inclinatio recta eundi, unde tanto magis contra suam et natura volvuntur, ita ut secundum naturam quiescant, quia cum eis proprium fit, quando sunt motae, eundi recta, quanto violentius volvuntur, tanto magis una resistit alteri, et quasi retro revocat eam, quam antea reperitur habere.

Ab eiusmodi inclinatione rectitudinis motus partium alicuius corporis rotundi fit, ut per aliquod temporis spacium, trochus cum magna violentia seipsum circumagens, omnino rectus quiescat super illam cuspidem ferri quam habet, non inclinans se versus mundi centrum, magis ad unam partem, quam ad aliam, cum quaelibet suarum partium in huiusmodi motu non inclinet omnino versus mundi centrum, sed multo magis per transversum ad angulos rectos cum linea directionis, aut verticali, aut orizontis axe, ita ut necessario huiusmodi corpus rectum stare debeat. Et quod dico ipsas partes non omnino inclinare versus mundi centrum, id ea ratione dico, quia non absolute sunt unquam privatae huiusmodi inclinatione, quae efficit ut ipsum corpus eo puncto nitatur. Verum tamen est, quod quanto magis est velox, tanto minus premit ipsum punctum, imo ipsum corpus tanto magis leve remanet. Id quod aperte patet sumendo exemplum pilae alicuius arcus, aut alicuius alterius instrumenti, seu machinae missilis, quae pila quanto est velocior, in motu violento, tanto maiorem propensionem habet rectius eundi, unde versus mundi centrum tanto minus inclinat, et hanc ob causam levior redditur. Sed si clarius hanc veritatem videre cupis, cogita illud corpus, trochum scilicet, dum velocissime circumducitur secari, seu dividi in multas partes, unde videbis illas omnes, non illico versus mundi centrum descendere sed recta orizontaliter ut ita dicam, moveri. Id quod a nemine adhuc (quod sciam) in trocho est observatum. Ab huiusmodi motu trochi, aut huius generis corporis, clare perspicitur, quam errent peripatetici circa motum violentum alicuius corporis, qui existimant aerem qui subintrat ad occupandum locum a corpore relictum, ipsum corpus impellere, cum ab hoc, magis effectus contrarius nascatur.

Illud, nihil, Aristotelis extra caelum nullomodo nobis inservit pro eiusdem Coeli spherica rotunditate, cum cuiusque alterius ex infinitis figuris Coelum ipsum esse possit secundum suam superficiem convexam. Nam Coelum ea ratione sphericum non est, quod magis sit capax, quia ei innumerabiles alias figuras adeo magnas poterat concedere causa divina: sed sphaericum est effectum, ne partem aliquam haberet sui termini superfluum, quia nullum corpus a breviori termino quam a spherico terminari potest.»

porque, a pesar de todo, no están nunca totalmente privadas de este tipo de inclinación, gracias a la cual el cuerpo mismo tiende hacia ese punto. Es cierto que cuanto más rápido es, menos tiende hacia él; en otras palabras, que el cuerpo en cuestión se vuelve tanto más ligero. Esto lo demuestra muy bien el ejemplo de la flecha del arco, o de cualquier otra máquina, que, cuanto más rápida es en su movimiento violento, más propensión tiene a ir recta, lo que quiere decir que se inclina menos hacia el centro del mundo o, en otras palabras, que se vuelve más ligera. Pero si quieres ver esta verdad de manera más clara, imagínate que este cuerpo, es decir, el trompo, es cortado o dividido en gran número de partes mientras gira muy rápidamente; entonces verás que éstas no descienden enseguida hacia el centro del mundo sino que se mueven, por así decirlo, en línea recta hacia el horizonte. Lo que (que yo sepa) nunca se ha observado con respecto al trompo. Y el ejemplo de tal trompo, o de otro cuerpo de esta clase, muestra bien hasta qué punto los peripatéticos se equivocan en relación al movimiento violento, movimiento que consideran provocado por la reacción del aire... cuando, en realidad, el medio desempeña un papel muy distinto.»

En la física aristotélica el medio desempeña un doble papel; es a la vez resistencia y motor: la física del *impetus* niega la acción motriz del medio. Benedetti añade que incluso su acción retardadora fue mal comprendida y, sobre todo, mal evaluada por Aristóteles. Lo que Aristóteles comprendió mal o, más exactamente, no comprendió en absoluto, fue el papel de las matemáticas en la ciencia física. Por eso cayó en el error en casi todo; porque sólo partiendo de los «fundamentos inquebrantables» de la filosofía matemática —lo que quiere decir, de hecho: partiendo de Arquímedes— se puede sustituir la física de Aristóteles por una física mejor.

Por ello Benedetti es plenamente consciente de la importancia de su empresa. Incluso adopta posturas heroicas[74]: «Cier-

[74] G. B. Benedetti, *Ibid.*, pp. 168 ss. «*Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis: Tanta est certe Aristotelis amplitudo atque authoritas, ut difficillimum ac periculosum sit quidpiam scribere contra quam ipse docuerit, et mihi praesertim, cui semper visa est viri illius sapientia admirabilis. Veruntamen studio veritatis impulsus, cuius ipse amore in seipsum si viveret excitaretur, in medium quaedam proferre non dubitavi, in quibus me inconcussa mathematicae philosophiae basis, cui semper insisto ab eo dissentire coegit.* Cap. II: *Quaedam supponenda ut constet cur circa velocitatem motuum naturalium localium ab Aristotelis placitis racedamus.*

Cum susceperimus provinciam probandi quod Aristoteles circa motus locales naturales deceptus fuerit, sunt quaedam primo verissima et objecta

tamente, es tal —nos dice— la grandeza y la autoridad de Aristóteles que resulta difícil y peligroso escribir algo en contra de lo que él enseñó; para mí particularmente, a quien la sabiduría de este hombre me pareció siempre admirable. No obstante, llevado por el afán de verdad, por el amor de la cual, si él viviera, se sentiría asimismo atraído... no vacilo en decir, en aras del interés común, en qué me fuerza a separarme de él el fundamento inquebrantable de la filosofía matemática.

»Como hemos aceptado la tarea de demostrar que Aristóteles se equivocó en la cuestión de los movimientos naturales locales, debemos comenzar por enunciar algunas cosas muy ciertas que el intelecto conoce de por sí: en primer lugar, que dos cuerpos cualesquiera, graves o leves, de volumen igual y figura semejante, pero compuestos de diferentes materias y dispues-

---

intellectus per se cognita praesupponenda, ac primum quaelibet duo corpora, gravia aut levia, area aequali similique figura sed ex materia diversa constantia, eodemque modo situm habentia, eandem proportionem velocitatis inter suos motus locales naturales, ut inter suam et pondera aut levitates uno in eodemque medio, servatura. Quod quidem natura sua notissimum est si considerabimus non aliunde maiorem tarditatem, aut velocitatem gigni, quam a. 4. causis (dummodo medium uniforme sit et quietum) idest a maiori aut minori pondere aut levitate; a diversa figura; a situ eiusdem figurae diversae respectu lineae directionis, quae recta inter mundi centrum et circunferentiam extenditur; et ab inaequali magnitudine. Unde patebit, quod figuram non variando, nec in qualitate nec in quantitate, neque eiusdem figurae situm, motum fore proportionatum virtuti moventi, quae erit pondus aut levitas. Quod autem de qualitate, de quantitate et situ eiusdem figurae dico, respectu resistentiae ipsius medii dico. Quia dissimilitudo aut inequialitas figurarum, aut situs diversus non parum alterat dictorum corporum motus, cum figura parva facilius dividat continuitatem medii, quam magna; ut etiam celerius idem facit acuta, quam obtusa; et illa quae cum angulo, qui antecedat movebitur velocius quam illa quae secus. Quotiescunque igitur duo corpora unam eandemque resistentiam ipsorum superficiebus, aut habebunt aut recipient, eodem motus inter seipsos eorum plane modo proportionati consurgent quo erunt ipsorum virtutes moventes; et e converso, quotiescunque duo corpora unam eandemque gravitatem aut levitatem et diversas resistentias habebunt, eorum motus inter seipsos eandem proportionem sortientur, quam habebunt eorum resistentiae converso modo; quae quidem resistentiae inter seipsas eandem proportionem quam ipsarum superficies habebunt, aut in qualitate sola figurae, aut in quantitate sola, aut in situ, aut in aliquibus ex dictis rebus, eo tamen modo qui superius positus fuit, ut scilicet corpus illud quod alteri comparatum, aequalis erat ponderis, aut levitatis sed minoris resistentiae, existet velocius altero, in eadem proportione cuius superficies resistentiam suscipit minorem ea quae alterius est corporis, ratione facilioris divisionis continuitatis aeris, aut aquae. Ut exempli gratia, si proportio superficiei corporis maioris superficiei minoris sesquitertia esset, proportio velocitas dicti corporis maioris, velocitati corporis minoris, esset subsesquitertia, unde velocitas minoris corporis maior esset velocitate corporis maioris quemadmodum quaternarius numerus ternario maior existit.»

tos de la misma manera, experimentarán en sus movimientos naturales locales la proporción de sus gravedades o levedades en los mismos medios. Lo que es completamente evidente por su naturaleza, desde el momento en que tomamos en consideración que la mayor velocidad o lentitud (mientras el medio permanezca uniforme y en reposo) no proviene sino de las cuatro causas siguientes: *a)* de la mayor o menor gravedad o levedad; *b)* de la diferencia de la forma; *c)* de la posición de esta forma con respecto a la línea de direcciones que se extiende, recta, entre el centro del mundo y la circunferencia; y, por último, *d)* del tamaño desigual [de los móviles]. De donde resulta claro que si no se modifica ni la forma (ni en calidad ni en cantidad) ni la posición de esta forma, el movimiento será proporcional a la virtud motriz, que es el peso o la levedad. Ahora bien, lo que digo de la cualidad, de la cantidad y de la posición de la misma figura, lo digo con respecto a la resistencia del mismo medio. Pues la disimilitud o la desigualdad de las figuras, o la posición diferente, modifica de manera no despreciable el movimiento de los cuerpos en cuestión, porque la forma pequeña divide más fácilmente la continuidad del medio que la grande, al igual que la aguda lo hace más rápidamente que la obtusa. Asimismo, el cuerpo que se mueve con la punta hacia adelante se moverá más rápidamente que el que no lo hace así. Por lo tanto, cada vez que dos cuerpos tengan que habérselas con una misma resistencia, sus movimientos serán proporcionales a sus virtudes motrices; y a la inversa, cada vez que dos cuerpos tengan una misma gravedad o levedad, y resistencias diversas, sus movimientos tendrán, entre sí, una proporción inversa a la de las resistencias... y si el cuerpo que es comparado con otro es de la misma gravedad o levedad, pero de resistencia menor, será más rápido que este otro en la misma proporción en que su superficie engendre una resistencia menor que la de éste... De tal modo, si, por ejemplo, la proporción de la superficie del cuerpo mayor con la del cuerpo menor fuera de 4/3, la velocidad del cuerpo menor sería mayor que la del más grande, de la misma manera que el número cuaternario es mayor que el ternario».

Un aristotélico podría —e incluso debería— admitir todo esto. Pero, añade Benedetti, hay algo más que admitir [75], a saber

[75] *Ibid.*, p. 169: «Aliud quoque supponendum est, velocitatem scilicet motus naturalis alicuius corporis gravis, in diversis mediis, proportionatam esse ponderi ejusdem corporis in iisdem mediis; ut exempli gratia, si pondus totale alicuius corporis gravis significatum erit ab. *a. i.* quo corpore posito in aliquo medio minus denso, quam ipsum sit (quia in medio se

«que el movimiento natural de un cuerpo grave en diferentes medios es proporcional al peso de este cuerpo en los mismos medios. Así, si el peso total de cierto cuerpo grave estuviera representado por *ai*, y este cuerpo fuera colocado en un medio cualquiera, menos denso que él mismo (pues si fuera colocado en un medio más denso no sería grave sino leve, como lo ha mostrado Arquímedes), ese medio le restaría la parte *ei*, de tal forma que sólo actuaría la parte *ae* del peso; y si dicho cuerpo fuera colocado en algún otro medio más denso pero, no obstante, menos denso que el cuerpo mismo, ese medio le restaría la parte *ui* de dicho peso, y dejaría libre la parte *au*.

»Afirmo que la proporción entre la velocidad de un cuerpo en el medio menos denso y la velocidad del mismo cuerpo en el medio más denso será como *ae* a *au;* lo que está más de acuerdo con la razón que si dijéramos que estas velocidades serán como *ui* a *ei*, ya que las velocidades sólo son proporcionales a las fuerzas motrices (cuando la figura es la misma en calidad, cantidad y posición). Lo que decimos ahora está evidentemente de acuerdo con lo que escribimos anteriormente, pues afirmar que la proporción de las velocidades de dos cuerpos heterogéneos, pero semejantes en cuanto a la figura, el tamaño, etc., en el mismo medio, es igual a la proporción de los pesos, equivale a afirmar que las velocidades de un mismo cuerpo en diferentes medios están en proporción de los pesos de dichos cuerpos en esos mismos medios».

a *u* *e* *i*

Sin duda, desde su punto de vista, Benedetti tiene toda la razón. Si las velocidades son proporcionales a las fuerzas motrices, y si una parte de la fuerza motriz (del peso) es neutralizada por la acción del medio, no es sino la parte restante la que cuenta y, en medios cada vez más densos, la velocidad

densiore si poneretur, non grave esset, sed leve, quemadmodum Archimedes ostendit), illud medium subtrahat partem *ei* unde pars *ae* eiusdem ponderis libera maneat; et, posito deinde eodem corpore in aliquo alio medio densiore, minus tamen denso quam ipsum sit corpus, hoc medium subtrahat partem, *u. i* dicti ponderis, unde pars *a. u* eiusdem ponderis remanebit. Dico proportionem velocitatis eiusdem corporis per medium minus densum, ad velocitatem eiusdem per medium magis densum futuram ut *a. e.* ad *a. u*, ut est etiam rationi consonum magis quam si dicamus huiusmodi velocitates esse ut *ui* ad *ei* cum velocitates a virtutibus moventibus solum (cum figura una, eademque in qualitate, quantitate situque erit) proportionentur. Quae nunc diximus, plane similia sunt iis, quae supra scripsimus, quia idem est dicere proportionem velocitatum duorum corporum heterogeneorum, sed similium figura, et magnitudine aequalium, in uno solo medio, aequalem esse proportioni ponderum ipsorum, ut si dicamus proportionem velocitatum unius solum corporis per diversa media eandem esse cum ea quae est ponderum dicti corporis in iisdem mediis.»

del grave disminuirá siguiendo una progresión aritmética, y no geométrica, como pensaba Aristóteles. Pero el razonamiento de Benedetti, fundado en la hidrostática de Arquímedes, no parte en absoluto de las mismas bases que el de Aristóteles: para Aristóteles el peso del cuerpo es una de sus propiedades constantes y absolutas, y no una propiedad relativa, como para Benedetti y los «antiguos» [76]. Para Aristóteles, esa es la razón por la que actúa en cierto modo por entero en los diferentes medios que se resisten a él [77]. Por ello Benedetti estima que la física de Aristóteles demuestra que éste «no conoce la causa ni de la gravedad ni de la levedad de los cuerpos, que consiste en la densidad o rarefacción del cuerpo grave o leve, y la mayor o menor densidad o rarefacción de los medios» [78]. La densidad o rarefacción: he ahí las propiedades absolutas de los cuerpos. El peso, es decir, la gravedad y la levedad de los cuerpos, son sólo resultantes. Y Benedetti, a fin de evitarnos un error en el cual nos sería fácil caer, nos previene [79] de «que las proporciones de los pesos del mismo cuerpo en diferentes medios no guardan las proporciones de sus densidades. De donde, necesariamente, resultan proporciones desiguales de las velocidades; especialmente las velocidades de los cuerpos graves o leves de la misma figura o materia, pero de tamaño diferente guardan en sus movimientos naturales en el mismo medio una proporción muy diferente de la que afirma Aristóteles»; entre otras cosas, «a peso igual, un cuerpo menor irá más rápido», porque la resistencia del medio será menor... [80].

En realidad, según Benedetti, Aristóteles no comprendió nunca nada del movimiento. Ni del movimiento natural, puesto que ni siquiera vio que «el movimiento rectilíneo de los cuerpos naturales hacia arriba y hacia abajo no es natural en primer

---

[76] Cf. *supra*, p. 27.

[77] Razón por la cual la velocidad resultante es el cociente del peso por la resistencia.

[78] G. B. Benedetti, *ibid.*, cap. XXVI, p. 185. «Manifeste indicat (Aristoteles) se causam nec gravitatis, nec levitatis corporum naturalium nosce, quae est densitas aut raritas corporis gravis, aut levis, maior densitate aut raritate medii permeabilis, in quo reperitur.»

[79] G. B. Benedetti, *ibid.*, p. 172. «*Disputationes, de quibusdam placitis Aristotelis*, cap. VI: *Quod proportiones ponderum eiusdem corporis in diversis mediis proportiones eorum mediorum densitatum non servant. Unde necessario inaequales proportiones velocitatum producuntur*, cap. VII. *Corpora gravia aut levia eiusdem figurae et materiae sed inaequalis magnitudinis, in suis motibus naturalibus velocitatis, in eodem medio proportionem longe diversam servatura esse quam Aristoteli visum fuerit*»; a saber, la proporción será aritmética y no geométrica.

[80] *Ibid.*, cap. VIII; cf. cap. XVIII.

lugar y *per se*»[81]; ni del movimiento violento, puesto que no vio que el movimiento rectilíneo, el movimiento de ida y vuelta, es continuo y se hace sin parar[82], ni que el movimiento en línea recta puede ser infinito en el tiempo, aunque finito en el espacio: es suficiente, para ello, que su velocidad disminuya progresivamente[83].

Está claro que el primer error de Aristóteles fue el de haber despreciado o incluso excluido de la física los fundamentos inquebrantables de la filosofía matemática.

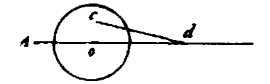
Pero no hemos acabado todavía la lista de los errores físicos de Aristóteles[84]. Llegamos ahora al más grave: la negación del vacío. En efecto, Benedetti nos lo dice sin rodeos. La demostración aristotélica de la inexistencia del vacío no tiene ningún valor.

Como es bien sabido, Aristóteles demuestra por el absurdo la imposibilidad del vacío: en el vacío, es decir, en ausencia de toda resistencia, el movimiento se realizaría con una velocidad infinita[85]. Ahora bien, esto es totalmente falso, estima Benedetti. Puesto que la velocidad es proporcional al peso relativo del cuerpo, es decir a su peso absoluto, disminuido —y no dividido— por la resistencia del medio, se desprende de inmediato que la velocidad no aumenta indefinidamente y, al anularse la

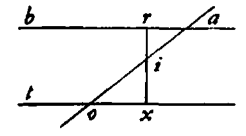
---

[81] *Ibid.*, cap. XXV, p. 184. «*Motus rectus corporum naturalium sursum aut deorsum non est naturalis primo et per se.*»

[82] *Ibid.*, cap. XXIII, p. 183. «*Motum rectum esse continuum vel dissentiente Aristotele.*» Es suficiente considerar el movimiento rectilíneo producido por la rotación de un círculo: el vaivén al punto *d* que se desliza por la línea *A* no implica detención.



[83] *Ibid.*, cap. XXIX, p. 286. «*Dari continuum infinitum motum super rectam atque finitam lineam.*» Es suficiente imaginar el movimiento del punto de intersección *i* por la línea *xr*, si la línea *ao* gira alrededor del punto *a*. Al deslizarse el punto *o* hacia *t*, el punto *i* no podrá llegar nunca a *r*.



[84] *Ibid.*, cap. XXXVI, p. 195. «*Minus sufficienter explosam fuisse ab Aristotele opinionem credentium plures mundos existire.*»

[85] Cf. *supra*, p. 13.

resistencia, la velocidad no deviene en modo alguno infinita[86]. «Pero, a fin de mostrarlo más fácilmente, imaginémonos una infinidad de medios corporales, unos más rarificados que otros en las proporciones que nos plazcan, comenzando por la unidad, e imaginemos asimismo un cuerpo *Q*, mas denso que el primer medio.» La velocidad de este cuerpo, en ese primer medio, será evidentemente finita. Ahora bien, si lo situamos en los diversos medios que hemos imaginado, su velocidad aumentará sin duda, pero no podrá nunca traspasar un límite. Así pues, el movimiento en el vacio es perfectamente posible.

Pero, ¿cómo será? Es decir, ¿cuál será su velocidad? Aristóteles pensaba que si el movimiento en el vacío fuera posible, las relaciones de velocidad de los diferentes cuerpos serían las mismas que en el pleno. Otro error más. Afirmación[87] «enteramente errónea, pues en el pleno la proporción de las resistencias exteriores se sustrae de la proporción de los pesos, y lo que queda determina la proporción de las velocidades, que sería nula si la proporción de las resistencias fuera igual a la proporción de los pesos; a causa de lo cual éstos tendrán en el vacío otras proporciones de velocidades que en el pleno, a saber: las velocidades de los cuerpos diferentes (es decir, de los cuerpos compuestos de materias diferentes) serán proporcionales a sus pesos específicos absolutos, o sea, a sus densidades. En cuanto a los cuerpos compuestos de la misma materia, tendrán en el vacío la misma velocidad natural»[88]; lo que se demuestra por las siguientes razones[89]: «En efecto, sean dos cuerpos homogé-

---

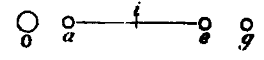
[86] G. B. Benedetti, *ibid.*, cap. XIX, p. 179: *Quam sit inanis ab Aristotele suscepta demonstratio quod vacuum non detur*... Ut igitur idem facilius ostendamus, comprehendamus imaginatione infinita media corporea, quorum unum altero rarius sit, in qua placuerit nobis ex proportionibus, incipiendo ab uno, imaginemur etiam corpus *Q*. densius primo medio, cuius corporis totalis gravitas sit *a. b.* et positum in ipso medio...»; se desprende que la velocidad de los graves en el vacio no será infinita, sino finita.

[87] *Ibid.*, p. 174, cap. IX: «*An recte Aristoteles disseruerit de proportionibus motuum in vacuo.* Cum vero Aristoteles circa finem cap. 8 lib. 4 physicorum subiungit quod eadem proportione dicta corpora moverentur in vacuo, ut in pleno, id pace eius dictum sit plane erroneum est. Quia in pleno dictis corporibus subtrahitur proportio resistentiarum extrinsecarum a proportione ponderum, ut velocitatum proportio remaneat, quae nulla esset, si dictarum resistentiarum proportio, ponderum proportioni aequalis esset, et hanc ob causam diversam velocitatum proportionem in vacuo haberent ab ea, quae est in pleno.»

[88] *De la misma materia:* los cuerpos de diferente materia caen a diferentes velocidades. Cf. p. 59.

[89] G. B. Benedetti, *Ibid.*, *Disputationes*, cap. X, p. 174: «*Quod in vacuo corpora eiusdem materiae aequeli velocitate moverentur.* Quod supradicta

neos *o* y *g*, y sea *g* la mitad de *o*. Sean, asimismo, dos cuerpos homogéneos a los primeros, *a* y *e* ambos iguales a *g;* supongamos que los dos cuerpos están situados en los extremos de una línea cuyo medio es *i:* está claro que el punto *i* tendrá tanto peso como el centro de *o;* también *i*, por la virtud de los cuerpos *a* y *e* se moverá en el vacío con la misma velocidad que el centro de *o*. Pero si dichos cuerpos *a* y *e* estuvieran separados de dicha línea, no modificarían por eso su velocidad, y cada uno de ellos sería tan rápido como *g*. Luego *g* sería tan rápido como *o*».



El movimiento en el vacío [90], la caída simultánea de los graves homogéneos: estamos muy lejos ya de la física de Aristóteles. Pero los fundamentos inquebrantables de la filosofía matemática, el modelo de la ciencia arquimediana, siempre presente en el ánimo de Benedetti, no le permiten detenerse ahí [91]. El error de Aristóteles no fue sólo el no haber admitido la posibilidad de vacío en el mundo, fue el haberse forjado una imagen falsa del mundo y haber adaptado la física a ésta. Es su falsa cosmología —Benedetti es un copernicano— [92], fundada sobre el finitismo, la que sirve de base a su teoría del «lugar natural». Ciertamente [93], «no hay ningún cuerpo, ya esté en el mundo o fuera de él (diga lo que quiera Aristóteles), que no tenga su lugar». ¿Lugares fuera del mundo? ¿Por qué no? ¿Habría «algún

---

corpora in vacuo naturaliter pari velocitate moverentur hac ratione assero.

Sint enim duo corpora *o* et *g* omogenea et *g* sit dimidia pars ipsius *o*. Sint alia quoque duo corpora *a* et *e* omogenea primis, quorum quolibet aequale sit ipsi *g* et imaginatione comprehendamus ambo posita in extremitatibus alicuius lineae, cuius medium sit. *i*. clarum erit tantum pondus habiturum, punctum *i*. quantum centrum ipsius *o*. quod *i* virtute corporis *a* et *e* in vacuo eadem velocitate moveretur, qua centrum ipsius. *o:* cum autem disiuncta essent dicta corpora *a*. et *e* a dicta linea, non ideo aliquo modo suam velocitatem mutarent, quorum quodlibet esset quoque tam velox quam est *g:* igitur *g* tam velox esset quam *o*.» Cf. *Ibid.*, cap. XVIII, pagina 179.

[90] Cf. *Ibid.*, cap. XXXVII, p. 196: «*An recte loquutus sit Philosophus de extrusione luminis per vacuum.*» Por supuesto, Benedetti estima que el vacío no detiene la propagación de la luz.

[91] Cf. *Ibid.*, cap. XXXIX, p. 197: «*Examinatur quam valida sit ratio Aristotelis de inalterabilitate Coeli.* Similiter de terra dici posset quando ipsa ita eminus prospiceretur.»

[92] Cf. *infra*, p. 67, n. 147.

[93] G. B. Benedetti, *Ibid.*, *Disputationes*, cap. XX, p. 181: «Hoc modo nullum est corpus, quod in mundo aut extra mundum (dicat autem Aristoteles quidquid voluerit) locum suum non habeat.» Por otra parte, el espacio no es la superficie envolvente, es el *intervalo*. Bruno dice lo mismo. Cf. *infra*, p. 163, n. 41.

inconveniente en que fuera del cielo se encuentre un cuerpo infinito»[94]? Aristóteles, sin duda, lo niega, pero sus razones no son nada evidentes.

«En efecto, piensa sin probarlo e incluso sin dar ninguna razón que las partes infinitas del continuo no están en acto sino sólo en potencia, cosa que no debe serle concedida, porque si el *continuum* entero y realmente existente está en acto, todas sus partes estarán en acto, pues es estúpido creer que las cosas que están en acto se componen de las que sólo existen en potencia. Y no se debe decir, tampoco, que la continuidad de esas partes hace que estén en potencia y privadas de todo acto. Sea, por ejemplo, la línea continua *au;* dividámosla en partes iguales por el punto *e:* no hay duda de que, antes de la división, la mitad *ae* (aunque esté unida a la otra, *eu)* está tan en acto como toda la línea *au,* aunque los sentidos no lo perciban. Y afirmo lo mismo de la mitad de *ae,* es decir, de la cuarta parte de toda la línea *au,* e igualmente de la octava, de la milésima y de la que se quiera.» Por ello, la multiplicidad infinita no es menos real que la finita; el infinito se encuentra en la naturaleza como actual y no sólo como potencial. Y el infinito actual, lo mismo que el potencial[95], puede ser comprendido.

IV. GALILEO

Pasemos ahora a Galileo.

En los tratados y ensayos que sobre el movimiento escribe en Pisa[96] y que, como es sabido, quedaron inconclusos, Galileo se esfuerza por desarrollar, de manera coherente y completa,

---

[94] *Ibid.*, cap. XXI, p. 181: «*Utrum bene Aristoteles senserit de infinito:* Nullum inconveniens sequeretur, quod extra coelum reperiri possit corpus aliquod infinitum, quamvis id ipse, nulla evidenti ratione inductus perneget. Sensit quoque, absque eo, quod aliquam rationem proponat... infinitas partes alicuius continui esse solum in potentia, non item in actu, hoc non est illico concedendum, quia si omne totum continuum et re ipsa existens, in actu est, omnis quoque eius pars erit in actu, quia stultum esset credere, ea quae actu sunt, ex iis quae potentia existunt, componi. Neque etiam dicendum est continuationem earundem partium efficere, ut potentia sint ipsae partes, et omni actu privatae. Sit, exempli gratia, linea recta *a. u* continua quae deinde dividatur in puncto *e* per aequalia, dubium non est, quin ante divisionem, medietas *a. e.* tam in actu (licet coniuncta cum alia *e. u*) reperiretur, quam totum *a. u.* licet a sensu distincta non esset. Idem affirmo de medietate *a. e* id est de quarta parte totius *a. u* et pariter de octava, de millesima, et de quavis, ita ut essentia actualis infiniti hoc modo tota concedi possit, cum ita sit in natura...»

[95] *Ibid.:* «multitudo non minus infinita quam finita intelligi potest.»

[96] Publicados por A. Favaro en el vol. I de las *Opere* de Galileo.

la dinámica de la «fuerza impresa» —del *impetus*—, de la que acabamos de hablar ampliamente, y, al mismo tiempo, por llevar hasta el fin la matematización o, mejor aún, la arquimedización de la física, cuyos principios acabamos de ver en la obra de G. B. Benedetti. Así pues, volvemos a encontrar en él una vez más, pero sistematizados, condensados y esclarecidos, los tradicionales argumentos de sus precursores parisienses.

En su obra pisana, Galileo se muestra resuelta, e incluso apasionadamente, antiaristotélico[97].

Aristóteles, dice Galileo, no comprendió nunca nada de física[98]. Y sobre todo, en lo que concierne al movimiento local, casi siempre estuvo lejos de la verdad. En efecto, Aristóteles nunca pudo demostrar que el motor deba estar necesariamente unido al móvil, sin afirmar, a la vez, que los cuerpos proyectados están movidos por el aire circundante[99].

Y Galileo no deja de alegar las instancias contrarias, los hechos que la teoría aristotélica no puede explicar. ¿Podría acaso explicar que un cuerpo pesado —un pedazo de plomo— pueda ser lanzado más lejos que un cuerpo ligero (del mismo tamaño)? ¿Que los cuerpos largos —una lanza— vuelen mejor que los cortos? ¿Y que vuelen con la punta pesada hacia adelante? ¿Cómo admitir que la flecha lanzada contra el viento sea llevada por la reacción del aire? ¿Cómo explicar por la reacción del medio el movimiento persistente de una rueda, de un trompo, de la esfera marmórea, pulida y recubierta de una funda?[100].

Además, la concepción aristotélica es en sí contradictoria: en efecto, si un desplazamiento del aire pudiera provocar otro desplazamiento, el fenómeno se reproduciría a su vez y el movimiento, una vez comenzado, se prolongaría indefinidamente, e incluso se iría acelerando. Ahora bien, uno de los principios fundamentales de la dinámica aristotélica es el de que todo

---

[97] Puede decirse que el *De motu* está concebido como una crítica de la dinámica aristotélica desde el punto de vista de la dinámica de la fuerza impresa. A menudo la crítica es violenta; no siempre equitativa. En efecto, Galileo separa la dinámica de Aristóteles de su metafísica; para él, el único movimiento es el movimiento *local*. Por eso no siempre comprende Galileo el pensamiento de Aristóteles. Pero puede decirse que su manera de comprender (o de no comprender) es de por sí signo y efecto de una nueva actitud mental.

[98] Cf. *De motu*, pp. 265, 276, 285, 302 y *passim*.

[99] *De motu*, p. 307: «*A quo moveantur projecta?:* Aristoteles, sicut fere in omnibus quae de motu locali scripsit, in hac etiam quaestione vero contrarium scripsit... Non poterat Aristoteles tueri, motorem debere esse coniunctum mobili, nisi diceret proiecta ab aere moveri.»

[100] *De motu*, pp. 307 ss. La *sphaera marmorea* es el ejemplo preferido de Tartaglia.

movimiento es limitado y finito. Finalmente, el argumento formal: al transferir al aire el papel de motor, Aristóteles no hace sino desplazar la cuestión. Aún más, se contradice, puesto que con eso mismo admite tácitamente una *virtus motiva impressa* en el aire: ¿por qué ese privilegio, y por qué, si no se puede prescindir de una *virtus motiva*, no admitir sencillamente que está presente en el móvil en todos los casos considerados?[101].

Tomemos, por ejemplo, el caso de una piedra que se lanza al aire: la piedra sube, luego ha adquirido cierta cualidad o virtud que la hace subir. Y puesto que el hecho de elevarse es propio de los cuerpos leves, lo que la piedra ha adquirido es pues una especie de levedad. Esta levedad (no natural) es la que explica el movimiento ascendente del móvil: es una *virtus impressa*, una *virtus motiva*.

Ahora bien, esta virtud motriz —dicho de otra forma, levedad— se conserva en la piedra privada del contacto con el motor, igual que se conserva el calor en el hierro que se calienta, cuando se le retira del fuego. Esta virtud (impresa por la acción del lanzamiento) se debilita progresivamente en el objeto lanzado, al ser separado del lanzador, lo mismo que el calor se debilita en el hierro cuando éste es alejado del fuego. Así, la piedra vuelve al reposo, como el hierro vuelve a su frialdad natural; y al igual que existe una capacidad natural —y específica— de calor en los cuerpos, la hay de movimiento. La misma fuerza se imprime más en el móvil más resistente, es decir, más pesado, que en aquél que resiste menos (como el calor se imprime más en el hierro que en el aire, de modo que se conserva más tiempo en el primero): así, la fuerza se imprime más en el hierro que en la pluma[102].

Como se ve, Galileo, fiel a la inspiración de sus predecesores[103], desarrolla la física de la «fuerza impresa». Esta fuerza, de la que el movimiento del móvil es efecto, es concebida por

[101] *Ibid.*, p. 307. Sabemos que la objeción no es correcta: el aire es un medio particularmente apto para el movimiento. Cf. *ibid.*, p. 314: «Concludamos igitur tandem, proiecta nullo modo moveri a medio, sed a virtute motiva impressa a proiciente.» Cf. *supra*, pp. 24, 36, 39.

[102] *De motu*, p. 310: «*Virtus motiva*, nempe levitas conservatur in lapide, non tangente qui movit: calor conservatur in ferro ab igne remoto: *virtus* impressa successive remittitur in proiecto, a proiciente absente; calor remittitur in ferro, igne absente: lapis tandem reducitur ad quietem; ferrum similiter, ad naturalem frigiditatem redit: motus ab eadem vi magis imprimitur in mobili magis resistenti quam in eo quod minus resistit, ut in lapide magis quam in pumice levi.»

[103] La asimilación del *impetus* a una cualidad, y en especial al calor, es clásica desde Temistio. Cf. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», en *loc. cit.*, vol. XIV, p. 379, y *supra*, pp. 18, 27.

Galileo a imagen de las fuerzas-cualidades de la física aristotélica: calor, frío. Cualidades sustanciales, al menos en el sentido de que pueden separarse de su fuente y ser transferidas a otro cuerpo. Cualidades «naturales», naturalmente presentes y por lo tanto persistentes de los cuerpos: o, al contrario, no naturales, violentamente impresas y, por consiguiente, pasajeras. Por ello, para darnos una idea más clara de este concepto, Galileo nos ofrece un «ejemplo mejor» [104]: el de la campana, que animada por un golpe, adquiere con tal motivo una *cualidad sonora*, y suena, es decir, emite un sonido en virtud de esa cualidad que se le imprime, cosa que explica por qué, bajo la acción de un golpe instantáneo, la campana es capaz de emitir un sonido de cierta duración. La cualidad sonora impresa o introducida por el golpe en la campana no es natural a ésta: es tan poco natural como la cualidad motriz introducida por el lanzamiento en la piedra. Pero una vez introducida o impresa, está ahí; pertenece a la campana, a la piedra, y no al badajo o a la mano. Y a partir de entonces posee una existencia independiente, y no tiene necesidad de estar continuamente unida a su fuente: el movimiento del móvil es un efecto de la fuerza (cualidad motriz) que lo anima. No ha necesidad de motor exterior para mantenerlo.

Como vemos, la analogía va lejos. Incluso muy lejos. A decir verdad, va mucho más lejos de lo que quisieran algunos historiadores de la ciencia. La virtud o cualidad motriz no es más natural a la piedra (un cuerpo está naturalmente en reposo) que la emisión del sonido lo es a la campana. La virtud motriz —al igual que la cualidad sonora— es algo «impreso» al objeto. Algo, además, cuyo ser consiste en actuar [105]. La cualidad sonora es la causa del sonido, como la cualidad motriz lo es del movimiento. Y tanto la una como la otra se agotan al producir sus efectos: el sonido o el movimiento. Por ello la campana no suena indefinidamente, sino que termina por callarse. Por ello tampoco la piedra lanzada vuela indefinidamente, sino que, agotada la fuerza motriz, se detiene y vuelve al reposo [106].

Galileo es muy firme en esto: la noción de cualidad o fuerza

---

[104] *De motu*, p. 310.

[105] *De motu*, p. 310: «Privatur lapis quiete: introducitur in campanam *qualitas sonora* contraria eius naturali silentio; introducitur in lapidem *qualitas motiva* contraria illius quieti.»

[106] *De motu*, p. 314: «Nunc... prosequamur ostendere, hanc virtutem successive diminui.» Benedetti sostiene también que el *impetus impressus* se debilita poco a poco. Pero, al igual que sus antecesores, no saca todas las consecuencias: así cree, como todo el mundo, en la aceleración inicial del movimiento violento.

motriz, diversamente impresa por el motor al móvil, permite dar una explicación completa del fenómeno del lanzamiento. No hay ninguna necesidad de embrollarse con la inepta reacción del medio inventada por Aristóteles.

Pero ¿no implica acaso la noción de fuerza motriz impresa al móvil la continuación indefinida del movimiento? En otros términos: ¿no permite acaso formular el principio de inercia? Es sabido que esta fue la opinión de más de un historiador célebre. En todo caso no es la de Galileo [107]. En contra de algunos de sus mayores (Cardano, Piccolomini, Scaligero), quienes afirman que en ciertas condiciones, a saber, cuando el movimiento se realiza en una superficie horizontal, el *impetus* se eterniza [108], Galileo afirma resueltamente su carácter esencialmente perecedero. El movimiento eterno es imposible y absurdo, precisamente porque es el producto de la fuerza motriz que se agota al producirlo [109]. Por ello se realiza disminuyendo siempre de velocidad, y es imposible señalar dos puntos donde la velocidad del móvil haya sido la misma. Galileo, quien sin embargo ha leído a Benedetti y sabe que el movimiento puede disminuir de velocidad indefinidamente [110], estima que esto basta y sobra para demostrar la necesidad de la detención del movimiento. Error que se explica, sin duda, porque sustituye involuntariamente el tiempo por el espacio, porque concluye de lo finito de su recorrido lo finito de su duración. Por lo demás poco importa; la lección que nos da Galileo no deja de ser por ello menos válida, y de importancia capital para la historia de la ciencia: la física del *impetus* es incompatible con el principio de inercia.

Sin duda todo el mundo, o casi todo el mundo, admitía que el movimiento violento disminuye progresivamente de velocidad, que el *impetus* se agota poco a poco. Por lo menos, todo el mundo aceptaba que esto era lo normal. Lo que, como antes

---

[107] *De motu*, pp. 314 ss.: «cap... *in quo virtutem motivam succesive in mobili debilitari ostenditur.*» La razón principal que da Galileo es precisamente la imposibilidad del movimiento inercial: «Quare, eadem argumentatione repetita, demonstrabitur, motum violentum nunquam remitti, sed eadem velocitate semper et in infinitum ferri, eadem semper manente virtute motiva; quod certe absurdissimum est: non ergo verum est, in motu violento posse duo puncta assignari, in quibus eadem maneat virtus impellens. Quod demonstrandum fuit.»

[108] Duhem, *De l'accélération*, etc., p. 887 e *infra*, p. 91.

[109] *De motu*, p. 314: «Nec posse dari in eo motu duo puncta temporis, in quibus eadem sit virtus motiva.»

[110] *De motu*, p. 328: «caput... *in quo contra Aristotelem probatur, si motus naturalis in infinitum extendi posset, cum non in infinitum fieri velociorem...* Velocitas augetur vel minuitur asymptotive», cf. *supra*, páginas 49 y 50.

vimos, no les impedía en modo alguno creer de buena fe que todo movimiento, y en particular el del lanzamiento, comienza con una fase de aceleración. Incluso los artilleros del Renacimiento creían firmemente que la bala lanzada por el cañón comienza aumentando de velocidad, y alcanza su máximo de accion a cierta distancia de la boca [111].

No nos detendremos en las explicaciones más o menos ingeniosas de este fenómeno imaginario, aunque podrían servirnos como prueba suplementaria del carácter imaginativo de la noción del *impetus*. En efecto, parece que desde que se llega a *concebir*, de forma más o menos clara, la idea de fuerza, desde que se llega a *comprender* el movimiento como efecto de una fuerza (natural o impresa), es imposible admitir una aceleración espontánea del movimiento. Muy por el contrario, es obligado reconocer, como lo hace Galileo, que el movimiento —por lo menos el movimiento violento, movimiento producido en el cuerpo por una «fuerza impresa»— no puede, por sí mismo, sino debilitarse.

---

[111] Para darse cuenta de hasta qué punto estaba arraigada esta creencia absurda, no hay más que ver cómo Descartes escribe en 1630 a Mersenne (*Carta de enero de 1630*, A. T., vol. I, p. 110. Adam-Milhaud, vol. I, p. 115). «Quisiera también saber si ha experimentado usted si una piedra lanzada con honda, o la bala de un mosquete o un tiro de ballesta van más deprisa y tienen más fuerza a la mitad de su movimiento que al comienzo, y si tienen más efecto. Pues ésa es la creencia del vulgo, con la que, no obstante, no concuerdan mis razones; encuentro que las cosas que son empujadas y que no se mueven por sí solas deben tener más fuerza al comienzo que la que tienen un instante después.» En 1632 (A. T., vol. I, página 259, A. M., p. 233), y de nuevo en 1640, Descartes explica a su amigo lo que hay de cierto en esta creencia (*Carta à Mersenne*, 11 de marzo de 1640. A. T., vol. II, pp. 37 ss.): «*In motu projectorum* no creo que el proyectil vaya nunca menos deprisa al comienzo que al final, contando desde el primer momento en que cesa de ser empujado por la mano o por la máquina: pero creo que un mosquete que no esté a más de un pie o medio pie de una muralla no tendrá tanto efecto como si estuviera a quince o veinte pasos, ya que la bala, al salir del mosquete, no puede expulsar con tanta facilidad el aire existente entre él y esa muralla, y por eso debe ir menos deprisa que si la muralla estuviera menos cerca. No obstante, es a la experiencia a quien corresponde determinar si esta diferencia es sensible, y yo dudo mucho de todos los experimentos que yo no haya hecho.» Por el contrario, Beeckman niega rotundamente la posibilidad de una aceleración del proyectil, y escribe (*Beeckman a Mersenne*, 30 de abril de 1630, véase *Correspondance du Père Mersenne*, París, 1936, vol. II, p. 437): «Funditores vero ac pueri omnes qui existimant remotiora fortius ferire quam eadem propinquiora, certo certius falluntur.» Sin embargo, admite también que hay algo de verdad en ello y que es necesario explicarlo: «Non dixeram plenitudinem nimiam aeris impedire effectum tormentarii globi, sed pulverem pyrium extra bombardam jam existentem forsitan adhuc rarefieri, ideoque fieri posse ut globus tormentarius extra bombardam nova vi (simili tandem) propulsus, velocitate aliquamdiu cresceret.»

Pues bien, es curioso comprobar que de todos los partidarios de la física del *impetus*, Galileo (con Hiparco, al parecer, y Gaetano da Thiene)[112] fue el único en comprenderlo plenamente, el único en atreverse a negar, por imposible, un fenómeno que sus predecesores y coetáneos se limitaban a explicar.

También fue llevado a negar otro fenómeno, esta vez indudable, a saber, la aceleración del movimiento de la caída. Ciertamente, la caída de un cuerpo se efectúa en virtud de una fuerza constante: su peso, razón por la cual la caída no puede tener otra velocidad que la constante.

Galileo lo dice muy claro: la rapidez o la lentitud del movimiento de la caída depende de una misma causa: el peso mayor o menor del cuerpo que cae[113]. La velocidad no es algo que, desde fuera, por así decirlo, determine el movimiento, sobreañadiéndose de alguna manera a él, como pensaba Aristóteles, quien asignaba una causa al movimiento y otra a su velocidad. La velocidad no está en función de la resistencia del medio: es algo inherente y propio del cuerpo mismo. No se puede diferenciar la velocidad del movimiento; en efecto, el que supone un movimiento supone, necesariamente, una velocidad, y la lentitud no es otra cosa que una menor velocidad[114]. Así, a un mayor peso corresponde una mayor velocidad; a un menor peso, una velocidad menor; y a la inversa en cuanto a la levedad[115]. Por ello, la velocidad de la caída de un cuerpo es: *a)* estrictamente proporcional a su peso, y *b)* de un valor constante para cada cuerpo.

He aquí, claramente expresadas por Galileo, las consecuencias teóricas inevitables de la dinámica del *impetus*. Y nos parece que ello basta para comprender que ésta era, en sí misma, un callejón sin salida[116]. Para explicar también por qué —cuestión que inquietó de tal modo a Duhem— Nicolás de Oresme

---

[112] Cf. Duhem, *Etudes sur L., de Vinci*, vol. III, p. 111.

[113] *De motu, Opere*, vol. I, p. 260: «Caput... *Unde causetur celeritas et tarditas motus naturalis*. ... ex eadem causa pendere tarditatem et celeritatem, nempe ex maiori vel minori gravitate.»

[114] *De motu*, p. 261: «Attendendum est celeritatem non distingui a motu: qui enim ponit motum, ponit necessario celeritatem: et tarditas nihil aliud est quam minor celeritas.» De este modo una oposición de cualidades se sustituye por una escala cuantitativa. Cf. *ibid.*, pp. 289 ss.

[115] *De motu*, p. 251: «Lationem omnem naturalem, sive deorsum sive sursum illa sit, a propria mobilis gravitate vel levitate fieri.»

[116] Un callejón sin salida. Pero es indudable que, al principio al menos, fue la mecánica del *impetus* la que sirvió de vehículo, o, si se prefiere, proporcionó el ropaje imaginativo al pensamiento arquimediano. Concepción confusa, permitía mezclar elementos dispares cuya oposición verá claramente Galileo.

no aplicó al movimiento de la caída de los cuerpos las consideraciones teóricas —matemáticas— que había desarrollado en el análisis de la «latitud de las formas». La respuesta nos parece muy sencilla: Oresme se comprendía mejor que sus historiadores.

Acabamos de decir que Galileo había negado la aceleración del movimiento de la caída. No del todo, sin embargo. Como todo el mundo, estaba obligado a reconocer que una piedra que cae va cada vez más deprisa. No obstante, esta aceleración —nos dice— sólo tiene lugar al principio del movimiento de la caída, hasta el momento en que el cuerpo que cae alcanza su propia velocidad, que es estrictamente proporcional, como sabemos, a su peso. A partir de este momento, por el contrario, permanece constante y, añade Galileo, si pudiéramos hacer un experimento, es decir, si dispusiéramos de una torre lo suficientemente alta, veríamos claramente (lanzando pesos desde lo alto de la torre) cómo el movimiento acelerado se transforma en movimiento uniforme [117].

Sin embargo, ¿por qué hay aceleración al principio? Y, por otra parte, ¿cuál es esta velocidad propia? La respuesta a esta segunda pregunta es muy sencilla, como hemos visto: esta velocidad está en función del peso. No obstante, no se trata del peso absoluto de los cuerpos, sino de su peso específico. Un pedazo de plomo caerá más deprisa que un pedazo de madera. Pero dos pedazos de plomo caerán con igual velocidad [118].

Además, siguiendo también aquí el ejemplo de Benedetti, Galileo introduce en su dinámica un nuevo elemento que, comprendido en toda su importancia, acabará con ella: de hecho, no se trata del peso específico absoluto de los cuerpos, sino de su peso [específico] relativo [119].

---

[117] *De motu*, pp. 334 ss.

[118] *De motu*, p. 263: «Dicimus ergo mobilia eiusdem speciei... quamvis mole differant, tamen eadem celeritate moveri, nec citius descendere maior lapis quam minor.» La opinión contraria, que admite que un gran pedazo de hierro caería más deprisa que uno pequeño: «quae quidem opinio sit ridiculosa, luce clarius patet.» Pues de otro modo —es el argumento de Benedetti— la suma de dos cuerpos se movería menos deprisa que el mayor de ellos. (*Ibid.*, p. 265.) Cf. *ibid.*, p. 275: «Ex his quae in hoc et superiori capite tradita sunt, colligitur universaliter, mobilia diversae speciei eandem in suorum motuum celeritatibus servare proportionem, quam habent inter se gravitates ipsorum mobilium, dum fuerint aequales mole; et hoc quidem non simpliciter, sed in eo medio ponderata in quo fieri debet motus.»

[119] *De motu*, p. 254: «Ex hoc autem patet, quomodo in motu non sit solum habenda ratio de mobilis gravitate vel levitate, sed de gravitate

Volveremos enseguida sobre esta importante añadidura a la teoría clásica. Prosigamos, por ahora, con el problema de la aceleración.

Según la teoría del *impetus*, tal como la desarrolló Galileo, los cuerpos deberían caer a velocidades constantes, y proporcionales a sus pesos relativos [120]. Deberían... Pero, de hecho, caen a velocidades aceleradas; y esas velocidades no son proporcionales a sus pesos, ni siquiera relativos. Por el contrario, son los cuerpos *ligeros* los que, al comienzo de la caída, caen con mayor rapidez. Sólo más tarde los cuerpos pesados consiguen alcanzarlos y adelantarlos. De lo que, según Galileo, es fácil convencerse *por medio de la experiencia* [121].

Esta divergencia entre teoría y práctica se explica por el hecho de que la teoría está establecida, por así decirlo, en abstracto; y vale para el caso puro, el caso de los cuerpos sometidos únicamente a la pesantez, caso que no encontramos en la realidad. En efecto, en la realidad la pesantez no actúa jamás sola, sino que siempre se combina con la levedad. Ahora hay que estudiar la acción modificadora de esta última.

Por ejemplo, tomemos el caso de un cuerpo pesado lanzado verticalmente al aire. Si se eleva es porque le hemos impreso una levedad *praeter naturam* que, justamente, lo lleva hacia arriba [122]. Pero, además de esa levedad *praeter naturam* que le hemos impreso, el móvil conserva su pesantez natural, que lo empuja hacia abajo. La levedad *praeter naturam* debe pues, primeramente, compensar la resistencia o acción natural

---

etiam et de levitate medii per quod fit motus: nisi enim aqua levior esset lapide, tunc lapis in aqua non descenderet.» *Ibid.*, p. 262: «Diversa mobilia in eodem medio mota aliam servare proportionem ac quae illis ab Aristotele est tributa.» Sobre todo, la proporción es aritmética y no geométrica. Galileo, siguiendo los pasos de Benedetti, aplica al problema de la caída los teoremas de la hidrostática. Cf. *ibid.*, p. 272: «Excessus quibus gravitas sua mediorum gravitates excedit.»

[120] *De motu*, p. 272: «Erunt enim inter se talium mobilium velocitates, ut excessus quibus gravitates mobilium gravitatem medii excedunt.»

[121] *De motu*, p. 334: «Experientia tamen contrarium docet: verum enim est, lignum in principio sui motus ocius ferri plumbo: attamen paulo post adeo acceleratur motus plumbi, ut lignum post se relinquat, et, si ex alta turri demittantur, per magnum spatium praecedat: et de hoc saepe periculum feci.» Como se ve, las «experiencias» de Galileo no son muy de fiar.

[122] *De motu*, p. 311: «Cum enim leve illud dicamus quod sursum fertur, lapis autem sursum fertur, ergo lapis levis est dum sursum fertur. Sed dices, leve illud esse quod sursum naturaliter fertur, non autem, quod vi. Ego autem dicam, leve id naturaliter esse quod sursum naturaliter fertur; leve autem id praeternaturaliter aut per accidens aut vi esse, quod sursum praeter naturam, per accidens et vi fertur. Talis autem est lapis a virtute impulsus.»

del peso: en general, el cuerpo sólo se elevará si la levedad impresa al cuerpo es mayor que su peso; y sólo se elevará, además, en la medida que lo sea. Ciertamente, es sólo este exceso —la diferencia entre la levedad *praeter naturam* y el peso natural— el que entra en acción para producir el movimiento ascendente.

Ahora bien, al producir este movimiento ascendente, la levedad *praeter naturam* (como toda fuerza impresa) se agota por y en su misma acción. En un momento dado, todo el «exceso» se habrá gastado. Entonces, el cuerpo cesará de subir y comenzará a bajar en virtud de su propia gravedad natural [123].

Sin embargo, y esto es lo importante, no toda la levedad *praeter naturam* se ha gastado hasta ese instante, sino sólo su «exceso». El momento en el que comienza el descenso es aquél en que la levedad *praeter naturam* y la pesantez natural se equilibran exactamente. El cuerpo que cae no sólo está sometido a la acción de la pesantez, sino también a la de la levedad anteriormente impresa o, con más exactitud, a la que queda. Pues bien, queda una cantidad no despreciable (igual al peso), que si ya no es capaz de hacer subir al cuerpo en cuestión, lo es de *retardar* su movimiento de descenso. Ciertamente, la fuerza que lleva al cuerpo hacia abajo no es *toda* su pesantez, sino sólo el exceso de la pesantez sobre la levedad impresa. Y a medida que ese exceso aumenta (a causa de la disminución de la levedad impresa, la cual se agota en y por su acción retardadiza), aumenta igualmente la velocidad de la caída. Hasta el momento en que, habiéndose agotado por entero la levedad, el cuerpo, bajo la acción única de la pesantez, se mueve en lo sucesivo a velocidad uniforme [124].

Como puede apreciarse, la velocidad acelerada de la caída no es, en realidad, sino una velocidad progresivamente menos retardada.

Pero, se dirá, esta solución sólo es válida para los cuerpos

---

[123] *De motu*, p. 314: «Sic proiectum levi impellente liberatum suam veram et intrinsecam gravitatem descendendo prae se fert.» Siguiendo los pasos de Benedetti, pero de forma original, Galileo demuestra que al momento de invertirse la dirección del movimiento no habrá detención, como se creía. Cf. *ibid.*, p. 323: «Caput... *In quo contra Aristotelem et communem sententiam ostenditur in puncto reflexionis non dari quietem.* Ibid., p. 323: «Si enim semel quiescerent, semper deinde quiescerent.»

[124] *De motu*, pp. 315 ss.: «Cap... *in quo causa accelerationis motus naturalis in fine longe alia ab ea quam Aristotelici assignant, in medio affertur*», p. 329. «Naturalis resumatur gravitas, atque idcirco remota causa, acceleratio desinat.» Quizá no sea inútil recordar que también Descartes admitía que la aceleración de la caída no tenía lugar sino al principio, y que el cuerpo que caía acababa moviéndose a velocidad casi uniforme. En realidad, sin gravitación es inexplicable la aceleración.

a los que efectivamente les haya sido impresa una «levedad *praeter naturam*», o sea que no es válida sino para los cuerpos lanzados hacia arriba. Nada de eso, responde Galileo: es válida para todos los cuerpos. En efecto, supongamos que en el mo mento mismo en que un cuerpo lanzado hacia arriba cesara de subir y comenzara a descender, fuera detenido en su movimiento: ¿no es evidente que conservaría entonces almacenada en cierta forma, toda la levedad *praeter naturam* que poseyera en ese instante, y que si, después de un cierto tiempo, lo soltáramos su movimiento descendente no se resentiría en esa detención? Podemos, pues, asimilar el cuerpo situado en lo alto de una torre al lanzado a una altura igual [125]. Por otro lado, ese cuerpo en lo alto de la torre ¿no experimentará por parte de su soporte una presión hacia arriba (que lo impide descender), presión exactamente igual a su peso? [126]. Es esta presión la que le imprime la levedad supranatural que retardará el movimiento de su caída. Y puede considerarse que todos los cuerpos que se encuentran sobre la tierra, al estar alejados de su centro, se hallan en una situación análoga a la de los cuerpos situados en lo alto de la torre [127].

Ahora bien, como vimos anteriormente, los cuerpos no son capaces de recibir y conservar por igual el *impetus*, la cualidad motriz, la levedad *praeter naturam*. En particular, los cuerpos ligeros reciben menos y lo conservan peor. Esta es justamente la razón por la cual al comienzo de la caída caen *más deprisa* que los cuerpos pesados y densos, los cuales, habiéndose impregnado de levedad, no la sueltan sino de mala gana [128].

La teoría que acabamos de exponer —de la cual Galileo se muestra muy orgulloso— era, a decir verdad, bastante menos original de lo que él pensaba, puesto que ya había sido esbozada por Hiparco [129]; y, además, menos hermosa de lo que pensaba, puesto que desemboca en contradicciones flagrantes. Pero nos muestra el espíritu de la dinámica del *impetus*, y en esto consisten su valor e interés. Por ello podemos renunciar a exponer

---

[125] Véase *De motu*, pp. 336 ss.

[126] *De motu*, p. 296.

[127] Cosa que es —aunque Galileo no lo ve— claramente incompatible con una *velocidad constante* en la caída.

[128] *De motu*, p. 313: «Mobile, quo levius erit, eo quidem facilius movetur dum motori est coniunctum. Sed, a movente relictum, brevi tempore impetum receptum retinet; facilius moveri, sed minus *impetum* receptum retinere.» Cf. pp. 333 ss.: «caput... *in quo causa assignatur, cur minus gravia in principio sui motus naturalis velocius moveantur quam gravia*».

[129] Cf. *supra*, pp. 28-29. A decir verdad, es difícil admitir que Galileo haya podido creer en su originalidad.

aquí los detalles de esta dinámica, tal y como la desarrolla Galileo, y centrarnos en otro aspecto de su pensamiento al que ya hemos tenido ocasión de aludir: el aspecto arquimediano.

Ya hemos mencionado antes que Galileo, al hablar de la levedad (natural o *supra naturam*), la define como causa del ascenso y que, según él [130], la velocidad de caída de los cuerpos no está determinada por sus pesos absolutos, sino por sus pesos específicos y relativos. Precisiones importantes (enunciadas ya por Benedetti) que se aclaran la una a la otra y que, finalmente, permitirán a Galileo transcender, a la vez, el aristotelismo y la dinámica del *impetus*, al sustituirlos —o, más exactamente, al tratar de sustituirlos— por una física cuantitativa, de la que Arquímedes le proporcionará el modelo. La levedad es la que hace que un cuerpo se eleve [131]: a primera vista, esto no parece ser otra cosa que la clásica definición de la levedad, causa del ascenso de los cuerpos. Pero, en realidad, es todo lo contrario. La levedad y la pesantez ya no se comprenden como causantes de efectos determinados sino que, al contrario, son definidas a partir de sus efectos. La levedad es lo que hace que el cuerpo suba; la pesantez es lo que hace que descienda. Pero un cuerpo «pesado» colocado sobre el platillo de una balanza se eleva cuando el otro platillo baja. Asimismo, un trozo de madera, que en el aire cae, si es colocado en el fondo del agua se eleva. Lo que ocurre es que, contrariamente a la opinión de Aristóteles y de conformidad con la doctrina de los «antiguos», «pesado» y «leve» no son cualidades absolutas [132], sino propiedades relativas o, mejor aún, simples relaciones. Un cuerpo es leve o pesado, es decir, se eleva o desciende, según las circunstancias y el medio donde se encuentre. Si es más pesado que éste, desciende, y si es menos pesado, sube (como el caso de la madera en el aire y en el agua). Y la fuerza (y por consiguiente también la velocidad) con la cual desciende o sube está en proporción a la diferencia entre el peso (específico) del objeto y el peso de un volumen igual al suyo del medio en el cual se encuentra [133]. Lo que implica que todo cuerpo posee un *peso absolu-*

---

[130] Cf. el texto citado *supra*, p. 59, n. 119, y p. 60, n. 120.

[131] Véase *De motu*, p. 289. «Cum gravia definiantur ea esse quae deorsum feruntur, levia vero quae sursum.»

[132] Véase *De motu*, p. 289. «Caput... *in quo contra Aristotelem concluditur, non esse ponendum simpliciter leve et simpliciter grave: quae etiam si darentur, non erunt terra et ignis ut ipse credidit*»; cf. *supra*, pp. 26 ss., 48-49.

[133] Véase *De motu*, p. 289: «Grave et leve non nisi in comparatione ad

to, determinado por la cantidad de materia que contiene en una unidad de volumen; de esta manera encontramos precisada la doctrina de los «antiguos», según la cual todos los cuerpos son pesados; no hay, rigurosamente hablando, cuerpos leves. Aristóteles se ha equivocado una vez más [134].

Evidentemente, el razonamiento de Galileo —que, por otra parte, no hace sino seguir al de Benedetti— es una transposición del razonamiento arquimediano [135]. Ahora bien, esta extensión de la hidrostática tiene consecuencias muy graves: implica, especialmente, la sustitución de la contraposición de cualidades por la escala cuantitativa.

Galileo comprende muy bien la importancia de esta sustitución, que Benedetti había intentado antes que él y que estaba implícita en la doctrina de los «antiguos». Y por eso insiste en ella. La levedad no es una cualidad (la pesantez, distinta del *peso*, tampoco): es una resultante [136]. Por consiguiente, el movimiento hacia arriba no es un movimiento natural [137]. Los cuer-

---

minus gravia vel levia considerarunt qui ante Aristotelem; et hoc quidem, meo iudicio, iure optimo: Aristoteles autem 4° Caeli, opinionem antiquorum confutare nititur, suamque huic contrariam confirmare. Nos autem, antiquorum in hoc opinione secuturi.» Cf. el texto citado *supra*, p. 60, n. 122.

[134] *De motu*, p. 289: «Quod si... per se, simpliciter et absolute... quaeratur utrum elementa gravia sint, respondemus, nedum aquam aut terram aut aerem, verum etiam et ignem, et si quid igne sit levius, gravitatem habere et demum omnia quae cum substantia quantitatem et materiam habeant coniunctam.» *Ibid.*, p. 355: «Gravitate corpus nullum expers esse, contra Aristotelis opinionem.» Tesis, en último término, democrítea, que se encuentra ya en Nicolás de Oresme y en Copérnico. Galileo apela aquí a los «antiguos» (p. 289) y a Platón (p. 292). Cf. p. 293: «gravissimum non possit definiri aut mente concipi nisi quatenus minus gravibus substat... nec corpus levissimum esse id quod omni careat gravitate, hoc enim est vacuum, non corpus aliquod.»

[135] *De motu*, p. 275: «Eadem vi, qua sphaera plumbea resistit ne sursum trahatur deorsum etiam fertur: ergo sphaera plumbea fertur deorsum tanta vi quanta est gravitas qua excedit gravitatem sphaerae aqueae. Hoc autem licet in lancis ponderibus intueri.» Cf. p. 342.

[136] *De motu*, p. 270: «Motus sursum fit a gravitate, non quidem mobilis, sed medii; ... celeritas motuum sursum, esse, sicut excessus gravitatis unius medii super gravitatem mobilis se habet ad excessum gravitatis alterius medii super gravitatem eiusdem mobilis.» *Ibid.*, p. 259: «in mobilibus etiam naturalibus, sicut et in ponderibus lancis, potest motuum omnium, tam sursum quam deorsum, causa reduci ad solam gravitatem. Quando enim quid fertur sursum, tunc attollitur a gravitate medii»; cf. *ibid.*, páginas 361 ss. Sobre la reducción de la levedad a una diferencia de peso, y del movimiento *sursum* a un movimiento de «extrusión», concepción adoptada por Nicolás de Oresme y, de modo diferente, por Copérnico, cf. *supra*, páginas 27-28.

[137] *De motu*, pp. 352 ss.: «*Motus sursum nullum naturalem esse:* Conditio ex parte motus... est ut non possit in infinitum esse et ad indeterminatum, sed ut sit finitus et terminatus... ad aliquem terminum, in quo

pos que se elevan no lo hacen jamás por sí mismos, espontáneamente: es *vi*, es porque son empujados por otros, más pesados que ellos. En adelante, el único movimiento natural que reconoce Galileo es el de los cuerpos pesados (y todos lo son, incluso el aire, incluso el fuego) hacia abajo, o sea hacia el centro del mundo. Es también el único movimiento que posee un fin natural, fin del que carece el movimiento hacia arriba.

La distinción entre peso absoluto y peso relativo (y el peso que habitualmente medimos con nuestras balanzas es siempre relativo), la repetida afirmación de que la velocidad de caída de un cuerpo está en función de su peso relativo en un medio dado (y no de su peso absoluto), nos conduce, inevitablemente, a la conclusión —ya admitida por Benedetti por razones semejantes— de que es en el vacío y sólo en el vacío donde los cuerpos tienen un peso absoluto [138] y caen a una velocidad que es, efectivamente —al estar en función de sus pesos *absolutos*—, su velocidad propia [139].

Esta conclusión, profundamente opuesta a los dogmas más esenciales de la física aristotélica [140], una vez adoptada puede

---

naturaliter quiescere possit... ut non ab extrinseca sed intrinseca moveatur causa... motum sursum, ratione qua elongatio quaedam est a centro, non posse esse naturalem.» *Ibid.*, p. 359: «At simpliciter sursum, quo nihil magis sursum et quod etiam ut deorsum esse non possit, non solum actu non datur, verum neque ipsa cogitatione concipi potest.» *Ibid.*, p 361: «Motum sursum ex parte mobilis naturalem esse non posse»; p. 363: «Corpora sursum per extrusionem moventur»; p. 359: «talem motum posse dici violentum.»

[138] Galileo consagra todo un capítulo a refutar las enseñanzas de Aristóteles sobre la imposibilidad del vacío, cf. *De motu*, p. 276: «Quod si in vacuo ponderari possent, tunc certe, ubi nulla medii gravitas ponderum gravitatem minueret, eorum exactas perciperemus gravitates. Sed quia Peripatetici, cum principe suo, dixerunt, in vacuo nullos fieri posse motus et ideo omnia aeque ponderare, forte non absonum erit hanc opinionem examinare et eius fundamenta et demonstrationes perpendere: haec enim quaestio est una eorum quae de motu sunt.»

[139] *De motu*, p. 294: «Caput... *in quo contra Aristotelem et Themistium demonstratur, in vacuo solum differentias gravitatum et motuum exacte discerni posse.*» Temistio, como Aristóteles, afirma la igualdad de la velocidad de los cuerpos en el vacío: «Quanto autem haec falsa sint mox innotescet, cum, quomodo in solo vacuo possint vera gravitatum et motuum discrimina dari, et in pleno nulla haec inveniri posse, declaraverimus.»

[140] *Ibid.*, p. 282: «Dicere ex. gr. in vacuo non magis huc quam illuc, aut sursum quam deorsum, movebitur mobile, quia non magis versus sursum quam deorsum cedit vacuum sed unidique aequaliter, puerile est: nam hoc idem dicam de aere; cum enim lapis est in aere, quomodo magis cedit deorsum quam sursum, aut sinistrorsum quam dextrorsum, si aeris ubique eadem est raritas? ... cum dicunt: in vacuo non est neque sursum neque deorsum, quis hoc somniavit? Nonne, si vacuus esset aër, vaccum prope

unirse a la noción del movimiento como efecto de una fuerza motriz impresa o inmersa en el móvil. En efecto, como ya dij mos, en esta concepción el movimiento ya no es lo que era para Aristóteles, un proceso, un paso de un lugar a otro, de un estado a otro. No es todavía un «estado» —le falta mucho para serlo—, y éste es el motivo por el que no se conserva automáticamente. Es, como hemos visto, el efecto de una fuerza. Pero al estar esta fuerza enteramente comprendida o inmersa en el móvil, el movimiento de dicho móvil no implica, en principio, nada fuera de éste[141]. Con esta concepción es muy posible imaginar un móv (en movimiento) aislado del resto del universo. También se le puede situar en el vacío. Al estar la velocidad del móvil en función de la fuerza que lo mueve, la ausencia de resistencia no implica de manera alguna una velocidad infinita. Y si el móv animado por un movimiento violento se comporta siempre *aliter et aliter* con respecto a sí mismo (puesto que a cada instante su velocidad será otra y otra) y con respecto al centro del mundo (puesto que constantemente cambiará de posición), un móvil animado por un movimiento natural se comportará ciertamente *aliter et aliter* con respecto al centro del mundo, pero con respecto a sí mismo, al ser su velocidad (en el vacío) constante, permanecerá, por el contrario, *idem et idem*.

Podemos ver que: el movimiento se emancipa; el cosmos se disloca; el espacio se geometriza. Estamos en el camino qu conduce al principio de inercia. Pero todavía no hemos llegado a él. Nos encontramos, en realidad, muy lejos. Tan lejos que, para llegar a ese principio, habremos de abandonar en el camino tanto la noción del movimiento-efecto como la distinción entre movimientos «naturales» y «violentos»[142], y la noción e incluso el nombre de «lugar». Camino muy largo y difícil; y es sabido que el mismo Galileo no llegó a recorrerlo entero.

---

terram esset centro propinquius vacuo esset prope ignem... Et, primo, Aristoteles peccat in hoc, quod non ostendit quomodo absurdum sit, in vacuo diversa mobilia eadem celeritate moveri, sed magis peccat... quare nec celeritates erunt aequales.» Cf. *infra*, pp. 69-70, y *supra*, pp. 46-47.

[141] En la dinámica del *impetus* el movimiento absoluto resulta, pues, posible.

[142] Galileo la critica: *De motu*, p. 304: «caput... *in quo de motu circulari quaeritur, an sit naturalis an violentus.* Motus... naturalis est dum mobilia, incedendo, ad loca propria accedunt; violentus vero est dum mobilia, quae moventur, a proprio loco recedunt. Haec cum ita se habeant, manifestum est, sphaeram super mundi centrum circumvolutam neque naturali neque violento motu moveri». *Ibid.*, p. 305: «si sphaera esset in centro mundi, nec naturaliter nec violenter circumageretur, quaeritur, utrum, accepto motus principio ab externo motore, perpetuo moveretur, necne. Si enim non praeter naturam movetur, videtur quod perpetuo moveri deberet; sed si non secundum naturam, videtur quod tandem quiescere debeat.»

Pero eso es otra historia, de la que no vamos a ocuparnos aquí[143]. En la época a que se refiere nuestro estudio, Galileo sólo acaba de ponerse en camino. Todavía existe, para él, «un lugar natural», uno solo: el centro del mundo; hay un movimiento natural, también uno solo: el que va hacia ese centro[144]. Hay incluso, todavía, un residuo de orden cósmico: los cuerpos pesados se sitúan efectivamente en el —o cerca del— centro del mundo; los cuerpos más ligeros, en capas concéntricas alrededor de aquéllos. Curiosa concepción que muestra lo difícil que le resulta a Galileo librarse de los marcos tradicionales de la representación del mundo: se mantiene el orden concéntrico de los elementos, pero se explica por consideraciones geométricas: los cuerpos más pesados, al ser los más densos, se sitúan naturalmente allí donde hay menos lugar para admitir la materia, es decir, en el centro del globo del Universo[145], supuesto así como real.

Y, sin embargo, ¡qué vago e impreciso resulta ese globo del Universo! En efecto, en su crítica a la noción aristotélica del movimiento natural, allí mismo donde Galileo admite el carácter *natural* del movimiento hacia abajo, *deorsum*, protesta contra el carácter natural del movimiento hacia arriba, *sursum*, y lo hace no sólo porque, al ser pesantes todos los cuerpos, tal movimiento es siempre violento, sino también porque dicho movimiento no posee un final natural. No se puede descender eternamente. Por el contrario, siempre se puede ir más arriba[146].

Curioso texto que muestra a las claras cómo se opera en la mente de Galileo —sin duda bajo la influencia de Copérnico—[147]

[143] Véase el cap. 3, «Galileo y la ley de la inercia», p. 149.

[144] Ejemplo instructivo de la persistencia de una noción «natural»: la de la caída de los graves. Es curioso comprobar que Copérnico había llegado a librarse de esta noción, mientras que Galileo no conseguirá jamás deshacerse de ella por entero.

[145] *De motu*, p. 252: «cap. *Gravia in inferiori loco, levia vero in sublimi a natura constituta esse, et cur.* Cum enim ut antiquioribus philosophis placuit, una omnium corporum sit materia, et illa quidem graviora sint quae in angustiori spatio plures illius materiae particulas includerent, ut iidem philosophi, immerito fortasse ab Aristotele 4 Caeli confutati asserebant; rationi profecto consentaneum fuit, ut quae in angustiori loco plus materiae concluderent, angustiora etiam loca, qualia sunt quae centro magis accedunt, occuparent». Cf. *ibid.*, p. 345.

[146] Cf. los textos citados, *supra*, p. 64.

[147] La influencia de Copérnico sobre la evolución del pensamiento de Galileo ha sido subrayada por P. Tannery, *Galilée et les principes de la dynamique*, Mémoires scientifiques, vol. VI, París, 1926, pp. 400 ss. Cf. *infra*, pp. 193 ss.

Galileo es copernicano, de algún modo, *ab initio*. Y esto se explica si se piensa que G. B. Benedetti es un resuelto copernicano. Véase E. Wohlwill, *Galilei und sein Kampf*, etc., vol. I, pp. 19 ss.

una transformación gradual. El centro del Universo continúa ahí, pero la esfera del Cosmos se amplía, deviene indefinida, pierde, por así decirlo, su circunferencia. Sería suficiente que deviniera infinita [148] para que en el espacio, en lo sucesivo homogéneo, desapareciera todo vestigio del antiguo Cosmos, desapareciera todo «lugar» y toda dirección privilegiados. Sería suficiente... pero, también ¡qué esfuerzo mental implica este «sería suficiente»! Galileo no traspasó el límite. Sólo Bruno —que no era astrónomo ni físico— pudo dar el paso decisivo [149].

Volvamos ahora un poco atrás. ¿De dónde viene esta curiosa física mecánica —todos los movimientos de los cuerpos, dice con bastante frecuencia Galileo, pueden ser reducidos al principio de la balanza— [150] e hidromecánica que hemos percibido en Benedetti y que acabamos de encontrar en Galileo? Lo hemos dicho ya varias veces: proviene directamente de Arquímedes. De Arquímedes, cuyo nombre no escribe jamás Galileo sin acompañarlo de los más elogiosos epítetos, y bajo cuya autoridad se va a poner [151]. Con toda razón, sin duda alguna.

Por otra parte, no fue Galileo el único que admiró por encima de todo a Arquímedes. Desde que Tartaglia —quien, a decir verdad, no sabe sacar gran provecho de ellas— edita sus obras en latín, su gloria, primero, y su influencia después, no hacen más que crecer. Hasta tal punto que Cardano, quien muy seriamente se entretiene en clasificar a los grandes hombres por orden de preeminencia, asigna el primer lugar —por encima de Aristóteles— a Arquímedes, único en su categoría [152]. Es cierto que Scaligero protesta en seguida; ¡poner a este artesano por encima de Euclides, por encima de Aristóteles, por encima de Duns Escoto y Occam! ¡Qué ineptitud! Sin embargo, la opinión de Cardano es muy significativa; marca el ascenso creciente de Arquímedes. En cuanto a la influencia, está muy claro que

[148] En esto ve S. Hessen —muy correctamente, por lo demás— el sentido de la revolución galileana. Véase S. Hessen, «Die Entwicklung der Physik Galileis und ihr Verhältuis zum physikalischen System von Aristoteles», *Logos*, vol. XVIII, pp. 339 ss.

Sin embargo, nos parece que Hessen no aprecia en su justo valor el hecho de que el propio Galileo *no hiciera infinito el universo.*

[149] Véase P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, III, pp. 257 ss., y el capítulo 3, «Galileo y la ley de la inercia», pp. 159-169. Aprovechamos la oportunidad para insistir en este caso —bastante raro— en el que la filosofía se adelantó a la ciencia.

[150] *De motu*, p. 259: «... naturalium mobilium motus ad ponderum in lance motum congrue reducatur.» Cf. *supra*, p. 64, n. 136.

[151] *De motu*, p. 300; cf. *infra*, pp. 71-72.

[152] Cf. P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, III, p. 199.

los dos mejores mecánicos de la época, Guidobaldo del Monte y Giovanni Battista Benedetti, deben lo más lucido de su pensamiento a Arquímedes. Y en cuanto a Galileo, puede decirse, por expresarlo de alguna manera, que se formó en la escuela de Arquímedes.

En efecto, es con la *Bilancetta*[153] —tratado de la balanza hidrostática— con la que el joven Galileo se inicia en la vida científica; y su primera cátedra de matemáticas en la Universidad de Pisa la debe a un trabajo sobre el centro de gravedad de los sólidos, de inspiración y técnica totalmente arquimedianas; y es afiliándose consciente y resueltamente a la escuela de Arquímedes, abrazando la tradición del pensamiento que éste representa —a favor de los «antiguos»[154] y en contra de Aristóteles— como Galileo llega a superar la física de la fuerza impresa y se eleva al nivel de la física matemática, que no es otra cosa sino una dinámica arquimediana.

La física del *impetus*, del impulso, de la fuerza impresa —lo hemos dicho y repetido, pero conviene volver a decirlo— era una reacción del sentido común, de la experiencia cotidiana y simple, contra la cosmofísica teórica de Aristóteles. Las nociones que emplea no son sino prolongaciones abstractas del sentido común. Por ello —pese al genio matemático de Nicolás de Oresme, pese a la geometrización del espacio ultracósmico por la escuela parisiense—, esas nociones no pueden asimilar los conceptos matemáticos que al lado de ellas se elaboran.

Muy distintas son las nociones que Galileo, desde Pisa, siguiendo y superando el ejemplo de Benedetti, comienza a emplear en su análisis del movimiento. Cuando, por ejemplo, estudia el movimiento de un cuerpo en un plano inclinado (que, por otra parte, reduce al estudio de la palanca); cuando nos muestra que, en un plano horizontal, una fuerza, por pequeña que sea, es suficiente para poner en movimiento una esfera por grande que sea[155]; o cuando, en su crítica de la dinámica de Aristóteles,

---

[153] Véase *Opere*, vol. I, pp. 210 ss.

[154] *De motu*, p. 359: «Haec Aristoteles contra antiquos et nos pro antiquis.» Los antiguos —estima E. Goldbeck, *Galileis Atomistik*, Bibliotheca Mathematica, N. F., vol. III/1— son los atomistas griegos. Lo que es totalmente cierto; sin embargo, señalemos que son los «antiguos» de la tradición escolar; cf. *supra*, pp. 27-28. Son también Platón y Arquímedes.

[155] *De motu*, pp. 296, 298. Por ello el movimiento en el plano horizontal no es ni natural ni *contra naturam*, p. 299: «Amplius: mobile, nullam extrinsecam habens resistentiam, in plano sub horizonte quantulumcunque inclinato naturaliter descendet, nulla adhibita vi extrinseca... et idem mobile in plano quantulumcunque super horizontem erecto non nisi violenter ascendit: ergo restat, quod in ipso horizonte nec naturaliter nec violenter moveatur. Quod si non violenter movetur, ergo a vi omnium

y para apoyar su propia teoría de la caída de los cuerpos en el vacío, nos muestra que el incremento de la velocidad del móvil, debido a la disminución de la resistencia, no supera jamás cierta magnitud finita (al hacerse el incremento *asintótico)* y que, por consiguiente, la desaparición de la resistencia en el vacío no hace que esta velocidad sea infinita [156]; cuando, en general, estudia el movimiento en el vacío, etc., Galileo, de entrada y conscientemente, se sitúa fuera de la realidad. Un plano absolutamente liso, una esfera absolutamente esférica, ambos absolutamente duros, son cosas que no se encuentran en la realidad física [157]. No son conceptos extraídos de la experiencia: son conceptos que se le suponen. Por eso no hay que sorprenderse al ver que la realidad de la «experiencia» no concuerda del todo con la deducción [158]. No obstante, es ésta la que tiene razón. Es

---

minima moveri poterit. Quod etiam aliter demonstrare possumus: nempe, quodcunque mobile nullam extrinsecam resistentiam patiens, a vi quae minor sit quacunque vi proposita, in plano quod nec sursum nec deorsum tendat, moveri posse.» Cf. p. 66, n. 142.

[156] *De motu,* pp. 276 ss.: «Caput... *ubi, contra Aristotelem, demonstratur, si vacuum esset, motum in instanti non contingere, sed in tempore.»*

«Posuit enim ejusdem mobilis motus in diversis mediis eam, in celeritate, inter se proportionem servare, quam habent mediorum subtilitates: quod quidem falsum esse, supra abunde demonstratum est... Et quod eodem loco scribit Aristoteles, quod impossibile est numerum ad numerum eam habere proportionem quam numerus ad nihil, verum quidem est de proportione geometrica, et non solum in numeris sed in omni quantitate... Attamen hoc non est necessarium in proportionibus arithmeticis: potest enim in his numerus ad numerum eam habere proportionem quam numerus ad nihil. Quare..., si celeritas ad celeritatem non geometrice sed arithmetice dictam proportionem servaret, iam nullum absurdum sequeretur. At certe quidem celeritas ad celeritatem [se habet] sicut excessus gravitatis mobilis super huius medii gravitatem... Quapropter in vacuo quoque eadem ratione movebitur mobile, qua in pleno.» Sin duda en el vacío el movimiento será más rápido. En efecto, dado que «excessum super nihil est maius quam in medio», la caída será *velocissima.* Cf. *supra,* páginas 47-49.

[157] *De motu,* p. 296: «Caput *in quo agitur de proportionibus motuum eiusdem mobilis super diversa plana inclinata...* manifestum est, grave deorsum ferri tanta vi, quanta esset necessaria ad illud sursum trahendum: hoc est fertur deorsum tanta vi, quanta resistit, ne ascendat», página 298: «Haec demonstratio intelligenda est nulla existente accidentali resistentia...: supponendum est, planum esse quoddammodo incorporeum... mobile esse expolitissimum, figura perfecta sphaerica. Quare omnia si ita disposita fuerint, quodcunque mobile super planum horizonti aequidistans a minima vi movebitur, imo et a vi minori quam quaevis alia vis. Et hoc, quia videtur satis creditu difficile... demonstrabitur hac demonstratione.»

[158] *De motu,* p. 300: «Et haec quae demonstravimus, ut etiam supra diximus, intelligenda sunt de mobilibus ab omni extrinseca resistentia immunibus: quae quidem cum forte impossibile sit in materia invenire, ne

ella, son sus conceptos «ficticios» los que nos permiten comprender y explicar la naturaleza, hacerle preguntas, interpretar sus respuestas. Frente al empirismo abstracto, Galileo reivindica el derecho superior del matematismo platónico.

Sin embargo, no es todavía la autoridad del divino Platón [159] la invocada en favor de las «licencias matemáticas» de la nueva física (por ejemplo a favor del empleo de la hipótesis del paralelismo de las líneas de fuerza de la pesantez), sino el ejemplo del «sobrehumano» Arquímedes [160].

¿Es posible señalar más claramente la filiación histórica? ¿Es posible hacernos comprender más nítidamente el significado de la revolución científica que está a punto de llevarse a cabo? Después de haber rechazado la física de Aristóteles, después de haber intentado, sin éxito, construir una física del sentido común, Galileo tratará ahora de fundar una física arquimediana [161].

Una física arquimediana quiere decir una física matemática deductiva y «abstracta»: tal será la física que Galileo desarrollará en Padua. Física de la hipótesis matemática; física donde las leyes del movimiento, la ley de la caída de los graves son deducidas «abstractamente», sin hacer uso de la noción de fuerza, sin recurrir a la experiencia de los cuerpos reales. Los «experimentos» a los que apela —o apelará más tarde— Galileo, incluso los que realmente ejecuta, no son ni serán nunca otra cosa que experimentos mentales [162]. Los únicos, por lo demás,

miretur aliquis, de his periculum faciens, si experientia frustretur, et magna sphaera, etiam si in plano horizontali, minima vi non possit moveri. Accedit enim, praeter causas iam dictas, etiam haec: scilicet, planum non vere posse esse horizonti aequidistans. Superficies enim terrae sphaerica est, cui non potest aequidistare planum: quare plano in uno tantum puncto sphaeram contingente, si a tali puncto recedamus, necesse est ascendere...»

[159] Esto vendrá más tarde, cuando Galileo haya comprendido que su matematismo es platonismo. Véase *infra*, pp. 267 ss., 274 ss.

[160] *De motu*, p. 300: «Hic autem non me praeterit, posse aliquem obiicere, me ad has demonstratione tanquam verum id supponere quod falsum est: nempe, suspensa pondera ex lance, cum lance angulos rectas continere; cum tamen pondera ad centrum tendentia concurrerent. His responderem, me sub suprahumani Archimedis (quem nunquam absque admiratione nomino) alis mement protegere.» Cf. *infra*, p. 287.

[161] Cf. E. Meyerson, *Identité et réalité*, 3.ª edic., París, 1926, pp. 145 ss.

[162] Cf. Gal. Galilei, *Le Mecaniche*, *Opère*, vol. II, p. 159: *Quello che in tutte le scienze demostrative è necessario di osservarsi, doviamo noi... in questo trattato seguitare: che è di proporre le diffinizioni dei termini proprii di questa facultà, e le prime supposizioni, delle quali, come da fecondissimi semi, pullulano e scaturiscano conseqentemente le cause e le vere demostrazioni delle proprietà di tutti gl' instrumenti mecanici... Adimandiano adunque gravità quella propensione di muoversi naturalmente*

que podían hacerse con los objetos de su física. Pues los objetos de la física galileana, los cuerpos de su dinámica, no son cuerpos «reales». En lo irreal del espacio geométrico no hay cabida para los cuerpos «reales» —reales en el significado del sentido común—. Esto lo había visto claramente Aristóteles, pero no había comprendido que se pudieran suponer cuerpos abstractos, como preconizaba Platón, como lo hará el platónico [163] Arquímedes. Ahora bien, el mismo Arquímedes no había logrado dotar de movimiento a estos cuerpos abstractos. Esto fue obra del arquimediano Galileo.

Ahora bien, la dinámica galileana sólo es válida para estos cuerpos abstractos, situados en un espacio geométrico, para estos cuerpos arquimedianos, en pocas palabras. Unicamente a ellos se aplica el principio de inercia. Y sólo cuando el cosmos sea sustituido por el vacío consumado del espacio euclidiano, cuando los cuerpos esencial y cualitativamente determinados de Aristóteles y del sentido común sean sustituidos por esos «cuerpos» abstractos de Arquímedes, el espacio habrá cesado de desempeñar un papel físico y el movimiento habrá cesado de afectar a esos móviles. Estos podrán, en adelante, permanecer indiferentes al estado —reposo o movimiento— en que se encuentren, y el movimiento, convertido en un *estado*, podrá, como el reposo cuyo *status* ontológico habrá alcanzado, conservarse indefinidamente por sí mismo, sin que tengamos necesidad de una causa que nos explique este hecho.

al basso, la quale nei corpi solidi, si ritrova cagionata della magiore o minore copia di materia dalla quale vengono constituiti... Momento è propensione di andare al basso, cagionato non tanto dalla gravità del mobile, quanto dalla dispozisione che abbino tra di loro diversi corpi gravi; mediante il qual momento si vedra molte volte un corpo men grave contrapesare un altro di maggior gravità: come nella stadera si vede un picciolo contrapeso alzare un altro peso grandissimo... E dunque il momento quell'impeto di andare all'basso, composto di gravità, posizione e di altro, dal che possa essere tal propensione cagionate.

[163] Para toda la tradición doxográfica, Arquímedes es un «filósofo platónico».

2. LA LEY DE LA CAIDA DE LOS CUERPOS. DESCARTES Y GALILEO

INTRODUCCION

La ley de la caída de los cuerpos —la primera de las leyes de la física clásica— fue formulada por Galileo en 1604 [1]. Quince años más tarde, en 1619, lo fue también por Beeckman [2]. Es verdad que Beeckman no hizo el trabajo solo. Buen físico, pero matemático mediocre [3], tuvo que recurrir a la ayuda de Descartes, al que planteó el problema de integración que él no había podido resolver. Sin embargo, no sería razonable reducir el papel de Beeckman al de simple causa ocasional y atribuir a Descartes toda la gloria del descubrimiento. De hecho, el papel de Beeckman fue mucho mayor. No se limitó a plantear el problema, sino que también indicó a Descartes los principios de la solución; en fin, fue él quien, interpretando mal la respuesta de Descartes, enunció —presentándola, por lo demás, como obra del propio Descartes— la fórmula correcta de la ley: la misma que Galileo había encontrado quince años antes.

En efecto, Descartes se había equivocado en su respuesta. La fórmula que dio a Beeckman era errónea. Pero, cosa curiosa, el error que cometió fue el mismo —o más exactamente, complementario de aquél— que quince años antes cometiera Galileo. Pues también Galileo se había equivocado [4].

Coincidencias de este género son frecuentes en la historia del pensamiento científico. Surgen las mismas ideas, se hacen las mismas invenciones, más o menos al mismo tiempo, en lugares

[1] En una carta a Paolo Sarpi del 16 de octubre de 1604; véase *Opere*, Ed. Nazionale, vol. X, p. 115.

[2] Véase Descartes y Beeckman, *Varia* (*Oeuvres de Descartes*, ed. Adam y Tannery, vol. X), pp. 58 ss.; *Physico-mathematica*, *id.*, pp. 75 ss. Más adelante citamos estos textos *in extenso*.

[3] A Beeckman le repugnan los métodos infinitesimales y la noción de variación continua. Por eso trata de llegar a los resultados de Descartes con ayuda de una concepción —y de un cálculo— finitista. Cf. *ibid.*, páginas 61 ss.

[4] Véanse E. Mach, *Mechanik*, 8.ª edic., Leipzig, 1921, p. 125; P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les précurseurs parisiens de Galilée*, París, 1913, pp. 566 ss.

y en mentes muy diferentes. Todo el mundo conoce las polémicas en torno a la prioridad... y todo el mundo está de acuerdo en el interés que para la historia del pensamiento científico presentan esas sorprendentes simultaneidades.

Ahora bien, ninguna de esas «coincidencias», ni siquiera las más célebres —la de Newton y Leibniz en la invención del cálculo infinitesimal, o la de Carnot y Clausius en el descubrimiento del principio de la entropía—, nos parece tan curiosa como la doble coincidencia de Galileo con Beeckman y Descartes: es la única en la que, al lado de la coincidencia en la verdad, encontramos una coincidencia en el error.

La ley de la caída de los cuerpos es una ley muy importante: es la ley fundamental de la dinámica moderna [5]. Al propio tiempo, es una ley muy simple; se comprende toda en una definición: *la caída de los cuerpos es un movimiento uniformemente acelerado* [6].

Pues bien, en la invención de esta ley, tan sencilla que hoy es comprendida de inmediato por los niños, Descartes y Galileo se equivocaron de medio a medio. ¿Cómo se explica su error? Los historiadores de Galileo no insisten habitualmente —tampoco lo hacen los de Descartes— en este contratiempo. Esto es comprensible. Todo historiador, sobre todo el biógrafo, es un poco hagiógrafo. Por eso con frecuencia pasa por alto los erro-

---

[5] Véase Duhem, *De l'accélération produite par une force constante*, Congreso Internacional de Filosofía, 2.ª sesión, Ginebra, 1905, p. 859: «Aristóteles había formulado esta ley: *Una fuerza constante produce un movimiento uniforme cuya velocidad es proporcional a la fuerza que lo engendra.* Durante casi dos mil años, esta ley dominó la mecánica. Hoy profesamos esta otra ley: *Una fuerza constante engendra un movimiento uniformemente acelerado, y la aceleración de ese movimiento es proporcional a la fuerza que solicita al móvil.* Esta ley está en la base de la dinámica moderna.» La apreciación de Duhem no nos parece exacta: Aristóteles ignoraba la noción moderna de fuerza. Por eso hablaba (como los escolásticos) de *causa* y no de *fuerza*. Que no es lo mismo.

[6] En realidad, el enunciado completo de la ley de la caída de los cuerpos contiene dos afirmaciones distintas: *a)* la velocidad de un cuerpo que cae se incrementa proporcionalmente al tiempo, y *b)* la aceleración de la caída es la misma para todos los cuerpos. El honor de haber formulado esta segunda proposición es atribuido en ocasiones a G. B. Benedetti, pero sin razón (cf. *supra*, pp. 48, 58), pues Benedetti no la admitió sino para los cuerpos de diferente peso pero «de la misma naturaleza». En cuanto a los cuerpos de «naturaleza» distinta, Benedetti creía que caían a una velocidad proporcional a su peso específico. Galileo fue el primero en establecer —empleando un razonamiento análogo al de Benedetti— que, cualesquiera que sean su peso y su «naturaleza», los graves caen todos a la misma velocidad. Cf. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Giornata prima, *Opere*, VIII, pp. 128 ss.

res cometidos, los fracasos sufridos por su héroe; sólo los menciona para excusarlos. Además, ¿para qué detenerse en los errores? ¿Acaso no es lo importante el éxito final, el descubrimiento, y no los caminos tortuosos que se han seguido y en los que ha podido uno extraviarse? Tiene razón, sin duda, el historiador-hagiógrafo. Ciertamente, lo que importa para la posteridad es la victoria, el descubrimiento, la invención. Sin embargo, para el historiador del pensamiento científico, al menos para el historiador filósofo, los fracasos, y en especial el error de un Galileo, de un Descartes, son algunas veces tan preciosos como sus éxitos. E incluso quizá más. En efecto, resultan muy instructivos. En ocasiones nos permiten apreciar y comprender la marcha secreta de su pensamiento.

Podría objetársenos que no hay que buscar explicación racional al error. El error es resultado de la debilidad de nuestra mente limitada, acotada y sometida, en su funcionamiento, a los condicionamientos psicológicos e incluso biológicos. Todo el mundo está expuesto al error. Todo el mundo se equivoca. Nadie es una excepción. El error se explica sencillamente por una falta de atención, por una distracción, por una «inadvertencia»[7]. Reconocemos que no podemos aceptar esta objeción; al menos no del todo. Todo error de razonamiento implica sin duda inadvertencia. Y puesto que Galileo y Descartes se equivocaron, son culpables de ello. Pero que esa doble inadvertencia (hecho, en sí, sumamente curioso) les condujera a un error exactamente similar, es cosa que no nos parece sea resultado del puro azar. No es que en realidad esto no sea posible, pero sí es demasiado inverosímil. La concordancia en el error debe tener alguna razón.

El problema que acabamos de plantear continúa, pues, en pie: Descartes y Galileo se equivocaron en la deducción de una ley sumamente sencilla.

¿No será eso, quizá, indicio de que tal sencillez es sólo aparente? O, si se prefiere, ¿no será indicio de que la ley de la caída de los cuerpos no resulta sencilla sino dentro de un cierto sistema de axiomas y a partir de un cierto conjunto de nociones? Dicho de otra forma: ¿no será que esa ley presupone e implica un cierto número de concepciones determinadas —concepciones del espacio, de la acción, del movimiento— que no son en modo alguno «sencillas». O, mejor dicho, ¿no será que son *demasiado sencillas* —como toda noción básica— y, por lo mismo, difíciles de adquirir?[8].

[7] Véase Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, III, p. 570.
[8] Véase *supra*, pp. 1 y 5.

I. GALILEO

El fenómeno de la caída ha sido siempre, para la física, objeto de meditación y extrañeza. Por lo tanto no resulta sorprendente que Galileo, quien desde su juventud, en Pisa, había consagrado el esfuerzo de su pensamiento a la solución del doble problema de la caída —la caída propiamente dicha, movimiento hacia abajo, y su aceleración— continuara ocupándose del tema en Padua. Comprendía muy bien que se trataba de un teorema —e, incluso, del teorema— fundamental de la nueva ciencia.

A B C D

Pues bien, he aquí lo que escribe Galileo a Paolo Sarpi en la carta del 16 de octubre de 1604 que antes mencionamos[9]: «Reflexionando sobre los problemas del movimiento, para los cuales, y a fin de demostrar los accidentes por mí observados, me faltaba un principio totalmente indudable que pudiera poner como axioma, he llegado a una proposición que tiene mucho de natural y evidente; y, supuesta ésta, demuestro luego todo el resto, en especial que *los espacios atravesados por el movimiento natural están en proporción doble del tiempo y que, por consiguiente, los espacios atravesados en tiempos iguales son como los números impares "ab unitate"* y las otras cosas. Y el principio es el siguiente: Que el móvil natural va aumentando de velocidad en la misma proporción en que se aleja de su punto de partida; por ejemplo, si un grave cae del punto *a* por la línea *abcd*, supongo que el grado de velocidad que tiene en *c* es al grado de velocidad que tenía en *b* como la distancia *ca* es a la distancia *ba* y así, por consiguiente, tendrá en *d* un grado de velocidad mayor que en *c* en la medida en que la distancia *da* es mayor que la distancia *ca*».

---

[9] *Galileo a Paolo Sarpi en Venecia*, Padua, 16 de octubre de 1604 (*Opere*, vol. x, p. 115). «*Ripensando circa le cose del moto, nelle quali, per dimostrare li accidenti da me osservati, mi mancava principio totalmente indubitabile da poter porlo per assioma, mi son ridotto ad una proposizione la quale ha molto del naturale et dell'evidente; et questa supposita dimostre poi il resto, cioè gli spazzii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi, et per conseguenza gli spazii passati in tempi eguali esser come i numeri impari* ab unitate, *o le altre cose. Et il principio è questo: che il mobile naturale vadia crescendo di velocità con quella proportione che si discosta dal principio del suo moto; come v. g. cadendo il grave dal termine* a *per la linea* abcd, *suppongo che il grado di velocità che ha in* c *al grado di velocità che hebbe in* b *esser come la distanza* ca *alla distanza* ba, *et cosí conseguentemente in* d *haver grado di velocità maggiore che in* c *secondo che la distanza* da *è maggiore della* ca.»

Texto curioso —que habremos de confrontar con los de Descartes—, que indica muy bien el rasgo característico de la lógica galileana. Lo que busca no es una fórmula en cierto modo descriptiva que le permita calcular las magnitudes observables y mensurables del fenómeno de la caída —sus «accidentes»—, velocidad, camino recorrido por el móvil, etc. Muy al contrario: Galileo se encuentra *ya* en posesión de tal fórmula (dejaremos de lado la cuestión de saber cómo llegó a poseerla)[10]; sabe ya que los *espacios* recorridos en *tiempos* iguales son entre sí como la serie de los números impares; sabe también que el *espacio* recorrido por el móvil es proporcional al *cuadrado de los tiempos*... Sin embargo, busca algo más, y lo que busca no es el vínculo lógico o matemático que une a estas dos proposiciones —con toda certeza conoce ese vínculo— sino un «principio» fundamental y evidente que permita deducir —o, como dice Galileo, «demostrar»— los «accidentes» del movimiento de la caída. Aplicando a Galileo las palabras de un físico moderno, podría decirse que no tiene ninguna confianza en la observación no verificada teóricamente. La epistemología galileana no es positivista, es arquimediana[11].

Dicho de otra forma: Galileo posee la *ley* de la caída de los cuerpos. Pero estima que eso no es suficiente, ya que tal ley la posee sólo como hecho; no comprende el porqué de la misma. Los cuerpos caen; esto es un hecho. Además, cuando caen su movimiento se acelera. Los espacios que atraviesan al caer son, entre sí, como los números impares. Pero, ¿por qué ocurre eso? Galileo estima que sería necesario saberlo.

Entendámonos: lo que es preciso explicar, o comprender, según Galileo, no es el hecho en sí de la caída: no se trata de encontrar la *causa* por la cual los *cuerpos caen*[12]. Lo que busca es la *esencia* del movimiento de la caída. Ciertamente, el movimiento que los cuerpos ejecutan al caer es un movimiento muy particular: es un modo, un tipo bien determinado de

---

[10] Sobre la historia, o la prehistoria, de la ley de la caída de los cuerpos, véanse P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, VIII, *Les précurseurs parisiens de Galilée*, París, 1913; E. J. Dijksterhuis, *Val en Worp*, Groningen, 1924; y E. Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei N. Oresme* (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters, vol. XXXI, n. 3), Münster, 1934.

[11] La interpretación «positivista» de la epistemología galileana ha sido desarrollada sobre todo por E. Mach. Véase *Mechanik*, 8.ª edic., pp. 122 ss. Es tan falsa como la interpretación análoga de la epistemología de Newton.

[12] Galileo *sabe* que esta causa se le escapa. Sabe que no sabe lo que es la pesantez, o, al menos, que no puede utilizar sus hipótesis y sus convicciones. Cf. *infra*, p. 137.

movimiento que se realiza, siempre idéntico, donde quiera que los cuerpos caen. Lo que se trata de encontrar es la naturaleza de ese modo de movimiento, su esencia o, si se prefiere, su *definición* (lo que quiere decir lo mismo). Esa naturaleza es la que constituirá ese principio evidente e indudable, axioma fundamental que permitirá deducir todo el resto.

Por qué caen los cuerpos es cosa que Galileo no podía saber[13]. Nadie, antes de Newton, podía explicarlo[14]. El habèr renunciado a la explicación causal en beneficio de la búsqueda de la esencia o, como se ha dicho, de la «ley», ha sido con frecuencia considerado timbre de gloria para Galileo. Ahora bien, esta renuncia (que, en realidad, Galileo sólo se decidió a hacer forzado), al romper o, al menos, al aflojar los lazos de su pensamiento con lo real, tornó su tarea singularmente difícil. Por lo tanto, era mucho más fácil deslizarse hacia el error.

Más adelante volveremos sobre estas cuestiones. Como quiera que sea, Galileo comete un error en su descubrimiento de la esencia del movimiento de la caída. Pues, en verdad, el «principio» que adopta por considerarlo suficientemente evidente y natural —*la velocidad del móvil* (en caída libre) *es proporcional a la distancia recorrida*— no conduce de ninguna manera a establecer la ley de la caída, tal y como la acaba de formular él mismo. Conduce a una ley muy diferente, que Galileo habría sido incapaz de calcular[15].

El principio que Galileo quería erigir en fundamento de su dinámica —*la velocidad del móvil es proporcional al camino re-*

---

[13] Ya en 1600, Gilbert, seguido muy pronto de Kepler, reduce la pesantez a la atracción. Y Galileo, sin duda, comparte esta convicción (véase *infra*, pp. 246 ss.). Pero la atracción gilbertiana es un alma; y la de Kepler, después de haber dejado de ser un alma, sigue siendo una fuerza *dirigida* hacia el objeto, es decir, algo más misterioso todavía. Sobre la física de Gilbert, véase E. Burtt, *The metaphysical foundations of modern physical science*, Londres, 1925 [*Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*, Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1960]; sobre Kepler, véase E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neuren Zeit*, vol. I, Berlín, 1911, pp. 328 ss. (*El problema del conocimiento en la filosofía y en la ciencia modernas*, México, FCE, 1971).

[14] Sin duda se puede decir que el propio Newton no lo explica, y que su atracción es tan misteriosa como la tendencia a unirse de los semejantes, a la que recurren Platón y los «antiguos» y de la que se deriva, por lo demás. Nada más justo. Por eso, siempre se ha tratado de explicarla (véase E. Meyerson, *Identité et réalité*, París, 1926). Pero la atracción newtoniana es una fuerza no dirigida que se amolda al espacio de la geometría: esto es suficiente.

[15] La fórmula correcta de la ley: *la velocidad del móvil es proporcional a la distancia recorrida* sería la de una función exponencial. Véase P. Tannery, *Mémoires scientifiques*, vol. VI, pp. 41 ss.

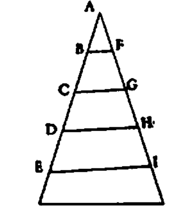
corrido (en lugar del principio correcto: *la velocidad del móvil es proporcional al tiempo transcurrido,* principio que ya conocía Leonardo da Vinci)—, no es, como claramente han demostrado Wohlwill [16] y Duhem [17], una invención galileana. Y se podría intentar explicar el carácter de evidencia que le atribuye Galileo por la influencia, consciente o no, de la tradición. Galileo cree comprender: en realidad, no hace sino recordar. Tal es, en suma, la explicación de Duhem. Pero ésta se limita a dejar de lado el problema: ¿cómo es posible que un principio que, aunque plausible, no nos parece de ningún modo *evidente,* sea adoptado como tal por mentes que, sin duda, no valían lo que Galileo pero eran, no obstante, notables? ¿Qué había de tan atractivo en ese «principio»? Creemos que un vistazo a la historia del problema nos permitirá entrever la respuesta.

El principio sobre el que Galileo trata de basar su demostración fue formulado, con toda la nitidez deseable, por el que todos coinciden en considerar su precursor inmediato, G. B. Benedetti. En su *Libro sobre diversas especulaciones matemáticas y físicas,* Benedetti efectivamente escribe: «Aristóteles no debería haber declarado que un cuerpo es tanto más rápido cuanto más

---

[16] Véase E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft,* vols. XIV y XV.

[17] Duhem, *De l'accélération produite par une force constante,* Congreso Internacional de Filosofía, 2.ª sesión, Ginebra, 1905. *Etudes sur Léonard de Vinci,* vol. III, *Les précurseurs parisiens de Galilée,* 1913. A los textos citados por Wohlwill y Duhem conviene añadir el de Michel Varron: cf. M. Varronis Genevensis I. C. y cos. ord. *De motu tractatus,* Genevae, Ex officina Jacobi Stoer, MDLXXXIV, pp. 12 ss.: «Vis... naturalis, qua resquaelibet ad locum suum naturalem tendit, subjectum suum, motu continue et ordinatim crescente, movet. Illius autem motus causa est quod facilius id moveatur, quod in motu est, quam quod quiescit. Vis igitur eadem, subjectum quod iam in motu est premens, illud magis movebit, quam si quiescat, et magis motum, magis etiam movebit: ita ut eadem vis motione maior fiat, quam per se sit. Et haec est causa cur ictus, quo magis ab altero venit, eo vehementior sit. Motus autem huius spatia hanc celeritatis proportionem servant, ut quae est ratio totius spatii, per quod fit ille motus ad partem ipsius (utriusque initio inde sumpto, ubi est motus initium), eadem sit celeritas ad celeritatem. Exempli gratia, si vis aliqua per lineam ABE moverit, sitque AB illius lineae pars, quae erit ratio AE ad AB, eadem erit celeritas motus in puncto E ad celeritatem motus in puncto B. Cujusmodi proportio observatur in parallelis triangulum secantibus. Ut enim se habet AC ad AB, sic CG ad BF, et ut AD ad AC, sic DH ad CG. Itaque si in spatia aliquot dividatur totius motus spatium, finis secundi duplo citius ferretur quam finis primi: finis vero tertii triplo citius quam finis primi et sic deinceps.»



se acerca a su meta, sino más bien que el cuerpo es tanto más veloz cuanto más se aleja de su punto de partida»[18]. La oposición a la concepción aristotélica es afirmada por Benedetti *expressis verbis*, y, sin embargo, uno podría preguntarse, de buenas a primeras, si tal oposición existe realmente. ¿Es que, en verdad, un cuerpo que va de A a B, un cuerpo que cae, por ejemplo, a tierra desde lo alto de una torre, o incluso un cuerpo que se dirige al centro de la tierra no se aproxima a su meta en la misma medida en que se aleja de su punto de partida? O si se prefiere, ¿no se aleja de su punto de partida en la misma medida en que se acerca a su meta? Ambas expresiones parecen perfectamente equivalentes... Por otra parte, Niccolò Tartaglia —quien al parecer fue el primero, al menos entre los modernos, en introducir en la discusión la consideración del punto de partida— lo dice con harto sentido común: «Si un cuerpo grave se mueve con un movimiento natural, *cuanto más se aleja de su principio o se acerca a su fin*, más deprisa va»[19].

Añadamos que el propio Benedetti está lejos de no tomar en consideración el punto de llegada, la meta natural del movimiento. Ciertamente, en el preciso momento en que hace a Aristóteles el reproche y la corrección[20] que acabamos de citar, escribe: «En los movimientos naturales y rectilíneos la impresión, la impetuosidad recibida, crece continuamente, pues el móvil tiene en sí mismo su causa motriz, es decir, la propensión a dirigirse *al lugar que le es asignado*»[21]. Y algunas líneas más abajo, para explicar la aceleración del movimiento de la caída, Benedetti añade[22]: «Porque la impresión crece a medida

[18] Véase G. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, MDLXXXV, «*Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis*, cap. XXIV, p. 184: «Aristot. 8. cap. primi libri de coelo, dicere non deberet quod quanto propius accedit corpus ad terminum ad quem, tanto magis sit velox, sed potius, quod quanto longius distat a termino à quo, tanto velocius existit. Quia tanto major sit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causam contineat, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit. Neque etiam recte scripsit Aristo. 9. cap. lib. 8 physicorum et. 2. lib. primi de coelo esse aliquem motum ex recto et circulari mixtum, quod omnino impossibile est.» Cf. Duhem, *De l'accélération*, etc., p. 885; y Wohlwill, *op. cit.*, volumen XV, p. 394.

[19] Niccolò Tartaglia, *La nuova scientia inventa de Nicolo Tartaglia*, libro I, prop. I, citado por P. Duhem, *op. cit.*, p. 875.

[20] Reproche bastante injusto, por otra parte, porque en su *Física*, Aristóteles en manera alguna deja de tomar en cuenta el punto de partida: cf. *Física*, VIII, 9, 265b.

[21] G. B. Benedetti, *op. cit.*, p. 184: «causam moventem, id est propensionem eundi ad locum ei a natura assignatum».

[22] G. B. Benedetti, *op. cit.*, p. 184: «tanto major sit semper impressio,

que el movimiento se prolonga, al recibir el cuerpo continuamente un nuevo *impetus;* en efecto, contiene en sí mismo la causa de su movimiento, que es la propensión a regresar a su lugar natural fuera del cual es colocado por la fuerza».

En esas condiciones, es decir, expresando la pura concepción cosmofísica de Aristóteles, ¿cómo es posible que Benedetti crea innovar? ¿Qué sentido tiene el reproche que le hace? ¿Y cómo es que no ve la equivalencia de su proposición con la que él rechaza?

La cuestión es importante. Pero para resolverla hay que partir, justamente, de estos hechos: del hecho de que Benedetti, al tiempo que continúa manteniendo una concepción aristotélica, se siente en oposición a Aristóteles; y del hecho de que, al sustituir la proposición de Aristóteles (o por lo menos la proposición que él cree tal) por la suya, que es formalmente equivalente a aquélla, la distingue e, incluso, contrariamente a Tartaglia, la considera opuesta a la de Aristóteles.

Es indudable que en sí mismo el problema que acabamos de plantear no tiene ninguna importancia: la poca claridad e incluso la confusión del pensamiento de Benedetti explican suficientemente sus deslizamientos e inconsecuencias. Porque, ciertamente, el pensamiento de Giovanni Battista Benedetti es todo menos un modelo de claridad. Pero, no obstante, es un pensamiento vigoroso y sincero. Por otra parte, no hay que olvidar que un pensamiento —en general, y en las épocas de transición en particular— puede ser confuso, falto de claridad y no por eso perder todo su valor. Más bien al contrario, como ha afirmado enérgicamente Duhem y ha demostrado admirablemente Emile Meyerson, el pensamiento progresa en la confusión y la falta de claridad. El pensamiento se encamina de lo oscuro a lo claro, y no de lo claro a lo claro, como pensaba Descartes.

El pensamiento de Benedetti es, sin duda, confuso. Pero lo es porque en él la tradición aristotélica se mezcla con la tradición parisiense (la física del *impetus)* y porque en esta doble tradición se injerta una tradición más reciente, que cobra fuerza, la de la física arquimediana. Al ser Benedetti, como hemos dicho, resuelto partidario de Copérnico[23], no puede abandonar la concepción general de la cosmofísica aristotélica —¿por cuál la reemplazaría?—, pero no obstante tiene razón al considerarse adversario de Aristóteles. Pues, en verdad, la física del *impetus,*

---

quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causam contineat, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit».

[23] Véase *supra,* p. 67, n. 147.

que ve en el movimiento el efecto de la fuerza incluida en el móvil, permite separar el movimiento del cuerpo de la noción de la meta hacia la cual se dirige, permite aislar al cuerpo en movimiento del resto del Universo[24]. Así pues Benedetti tiene razón al no admitir la equivalencia del *terminus a quo* con el acercamiento al *terrminus ad quem*, ya que, justamente, su concepción del movimiento permite suprimir —de pensamiento si no de hecho— el *terminus ad quem*. El móvil que bajo la influencia de alguna fuerza se pone en movimiento, necesariamente parte de algún lugar: del lugar en el que estaba en reposo; no se puede prescindir, para definir su movimiento, de la noción del *terminus a quo*. Pero este término es suficiente; el móvil, bajo la influencia de la fuerza que lo anima, parte —en movimiento rectilíneo— *en una cierta* dirección. No se dirige *hacia una cierta meta* (ya exista o no en realidad esta meta). Esto resulta evidente en el caso del movimiento violento: cuando se golpea una pelota, el *impetus* que se le imprime determina, inmediatamente, la velocidad y la dirección de su movimiento. Se puede, al hacerlo, tender a alcanzar una meta. En sí, esto no es de ninguna forma necesario.

Hagamos extensiva esta conclusión al caso del movimiento natural. El móvil —el cuerpo grave (o leve)— se mueve (o se pone en movimiento) en cierta dirección: hacia abajo (o hacia arriba). No va hacia una meta. Por eso —y en oposición a Aristóteles— hay que hablar de alejamiento del punto de partida, no de acercamiento al punto de llegada[25]. Lo que, a su vez, implica una consecuencia muy seria: el movimiento de un móvil está enteramente determinado por su estado pasado, y de ninguna manera por su estado futuro[26].

La concepción que tiene Benedetti del movimiento difiere de la que tiene Tartaglia. O, si se prefiere, la concepción del

---

[24] En cuanto a la física del *impetus*, aparte de las obras citadas de P. Duhem y Wohlwill, véanse E. J. Dijksterhuis, *Val en Worp*, Groninga, 1924; R. Marcolongo, «La meccanica di Leonardo da Vinci», en *Atti della Reale Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche di Napoli*, vol. XIX, 1932; E. Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters, volumen XXXI, núm. 3), Münster, 1934.

[25] A igual alejamiento, *cualquiera que sea el punto de partida*, corresponderá siempre igual aceleración; concepción que todavía se encuentra en Galileo y que le hace cometer el error de creer que el valor de g es en todas partes y siempre el mismo. Cf. *infra*, pp. 262-263.

[26] La noción del *impetus*, elaborada, como es sabido, para explicar el movimiento violento, permite, o incluso implica, la eliminación parcial del finalismo; en efecto, permite concebir el movimiento como producto de una causa interna, que, sin embargo, no está ya determinada por un fin.

espacio sobre la que se basa el razonamiento de Benedetti —la misma concepción sobre la que se basaron los razonamientos del joven Galileo—[27] difiere de la de Tartaglia. La equivalencia que existe para este último no existe para Benedetti, precisamente porque en su espacio, espacio no ya físico, sino geométrico, el movimiento —rectilíneo— se podría prolongar indefinidamente. Lo que no puede ocurrir ni en Tartaglia ni, menos aún, en Aristóteles.

Para Benedetti el movimiento es efecto de la fuerza *(impetus)* comprendida en el móvil; y su espacio no es un espacio físico sino geométrico: también, como vimos, para él el movimiento en el vacío es perfectamente admisible. Pero sin embargo su espacio no es *totalmente* geométrico; queremos decir que no es totalmente homogéneo. Para él todavía hay direcciones privilegiadas: abajo y arriba. Su espacio es arquimediano, o, más exactamente, epicúreo.

Por supuesto, no vamos a tratar de rehacer aquí la historia del problema de la caída y desarrollar todas las explicaciones (variación de la resistencia, reacción del medio, etc.) que los teóricos de la Edad Media imaginaron para explicar el hecho sorprendente de la aceleración[28]. Sin embargo, estamos obligados a recordar la explicación nacida de la noción del *impetus*, a la que se atuvieron los precursores inmediatos de Galileo.

Como ya vimos, la teoría del *impetus* consiste en concebir al movimiento como el efecto producido por una causa interna al móvil. Esta causa —el *impetus*— es representada de manera bastante vaga, asimilándola a una forma, a una cualidad, a una fuerza. Esta fuerza, impresa al móvil por la acción del motor exterior —el choque— es la que, al persistir en el cuerpo movido, explica la continuación de su movimiento. Basta con asimilar la pesantez —o la levedad— natural de los cuerpos a este *impetus* para, de manera análoga, explicar el movimiento natural y el movimiento violento, para hacer comprender que el movimiento natural y el movimiento violento o, más exactamente, sus *impetus*, pueden sumarse en un mismo móvil; basta con imaginarse un cuerpo —móvil— sometido durante su movimiento a la acción sucesiva de impulsos o choques que le imprimen nuevos *impetus* para tener una explicación admisible del movimiento acelerado de la caída.

Esta teoría, elaborada por los nominalistas parisienses, era bastante popular entre los pensadores del siglo XVI. Piccolo-

---

[27] Véanse *supra*, pp. 54 ss.

[28] Véanse las obras citadas *supra*, p. 79, n. 16 y 17, y p. 82, n. 24.

mini[29], Cardano, Scaligero[30] —después de Leonardo da Vinci— la admiten. Benedetti la expone con toda la claridad deseable.

Los *impetus* se acumulan, especialmente cuando son impresos al móvil antes de que la influencia del primer *impetus* —o de los *impetus* precedentes— haya desaparecido. Este punto tiene su importancia: en efecto, al ser el *impetus* una causa eficiente que produce el movimiento como efecto, se agota al producirlo. De donde se deduce que todo *impetus* se fatiga, es

[29] Alexandri Piccolominei, *In mechanicas questiones Aristotelis paraphrasis paulo quidem plenior,* ad Nicolaum Ardinghellum Cardinalem amplissimum. Excussum Romae, apud Antonium Bladium Asulanum, MDXLVII, cap. XXXVIII, questio trigesimatertia (Duhem, *De l'accélération*, etc., páginas 882 ss.). «Es necesario observar que hay dos clases de gravedad o de pesantez: una que tiene su fuente en la propia naturaleza de los cuerpos; otra superficial, a la que los griegos llaman ἐπιπόλαιον. Esta no es otra cosa que un cierto *impetus* no permanente que o bien puede adquirirse en el mismo cuerpo movido por su propia tendencia *(qui vel acquiritur in re ipsa ex suo nutu mota)*, o bien ser impresa por un motor que mueva violentamente. En efecto, cuando una piedra tiende hacia abajo, se vuelve cada vez más rápida, porque cada vez, por la continuación del movimiento, adquiere mayor pesantez (me refiero a la pesantez superficial) ... Igualmente, cuando una piedra es proyectada violentamente, recibe cierta gravedad o cierta levedad superficial impresa por lo que la proyecta. Esto no es sino un *impetus* accidentalmente adquirido, que mueve la piedra violentamente y la hace ser un móvil por sí misma hasta que este *impetus* languidece y se desvanece. Esta pesantez o levedad superficial no puede llegar a ser perdurable ni perfecta, pues la forma sustancial del cuerpo que la experimenta, a saber, la pesantez o la levedad que es natural a ese cuerpo, se opone a que se imprima perfecta y profundamente... La virtud impulsiva llega a su fin, lo que puede ocurrir ya sea por la resistencia de algún objeto que rechace al móvil, ya sea por la tendencia del mismo móvil, esfuerzo que resulta de su propia naturaleza y que se hace más potente que esta gravedad o levedad superficial... ¡Tan pronto como la verdadera pesantez sobrepasa, por la potencia de su esfuerzo, al *impetus* que el motor ha impreso en la piedra, la piedra cesa de moverse violentamente y, por su propio movimiento, tiende hacia abajo.» Cf. *Etudes sur Léonard de Vinci,* vol. III, p. 197.

[30] Julii Cesarii Scaligeri, *Exotericarum exercitationum liber XV, De subtilitate ad Hieronimum Cardanum,* Lutetiae apud Vascosanum MDLVII (citado por Duhem, *De l'accélération*, etc., p. 884), Exerc. LXXVII, *Quamobrem mota rota facilius movetur postea:* «Los cuerpos pesados, por ejemplo, una piedra, no tienen nada que favorezca la puesta en movimiento: al contrario, son completamente opuestos a ella. La piedra que se pone en movimiento en un plano horizontal no se mueve con movimiento natural... Entonces ¿por qué se mueve la piedra con mayor facilidad una vez que ha comenzado el movimiento? Porque, conforme dijimos anteriormente con respecto al movimiento de los proyectiles, la piedra ha recibido ya la impresión del movimiento. A una primera parte del movimiento sucede una segunda; y, sin embargo, la primera permanece. De modo que, aunque un solo motor ejerce su acción, los movimientos que imprime en esta sucesión son múltiples. Pues el primer impulso es conservado por el segundo, y el segundo por el tercero.» Cf. *Etudes sur Léonard de Vinci,* volumen III, p. 201.

decir se debilita debido al movimiento del cuerpo al que anima; por ello, el movimiento disminuye de velocidad, y todo cuerpo, una vez puesto en movimiento, tiende a volver al reposo. Para que haya aceleración es necesario que el nuevo *impetus*, el nuevo choque, empuje o tracción, se produzca mientras subsiste aún el *impetus* anterior, es decir, mientras el cuerpo se mueve.

Aplicada al problema de la caída, la teoría del *impetus* desemboca, en sus formas más elaboradas, en alguna de las siguientes concepciones:

O bien se admite que, en el primer instante de la caída, la pesantez confiere al grave un movimiento (grado de velocidad) determinado; a consecuencia del cual, en el segundo momento, el cuerpo en cuestión parece animado o dotado de su pesantez natural (constante) y, además, de una cierta pesantez accidental, función de la velocidad de la cual está animado. Unidas en su acción, la pesantez natural más la pesantez accidental confieren al grave un nuevo grado de velocidad, mayor naturalmente que el primero, y así sucesivamente. Entonces se puede decir que la pesantez (total) del cuerpo aumenta de continuo a medida que va cayendo, lo que, a su vez, explica el aumento de velocidad.

O bien se admite que la pesantez natural produce en el grave un *impetus* que lo conduce hacia su meta, o en la dirección natural de su movimiento, y que, antes de que se haya agotado este *impetus*, la pesantez produce en él un segundo, que se añade al primero, y así sucesivamente, de manera que el grave «aumenta siempre de velocidad, puesto que unida a él hay una virtud motriz perpetua».

Concepciones muy sutiles, sin duda, pero, como observaron con gran sentido común los aristotélicos de más estricta observancia[31], en el fondo, ilógicas: en efecto, en la primera hipótesis, se asimila el *impetus* —causa del movimiento— a su producto o efecto; en la segunda se concibe la pesantez ya no como fuerza o causa, sino como fuente de la que proceden los *impetus* que se acumulan en el móvil.

En ambas concepciones los *impetus* nacen a cada instante de tiempo, como ya lo había formulado, más claramente que cualquiera de sus sucesores, Leonardo da Vinci: «La gravedad que desciende libre adquiere a cada grado de tiempo un grado de movimiento, y a cada grado de movimiento un grado de velocidad»[32].

---

[31] Véase *supra*, pp. 33 ss.

[32] Los *Manuscrits de Léonard de Vinci*, publicados por Ch. Ravaisson-Mollien, MS. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 44, *verso*, París, 1890,

¿Cómo es entonces que el propio Leonardo, y después de Leonardo, Benedetti, y después de éste Michel Varron, afirman la proporcionalidad de la velocidad con el espacio recorrido y no con el tiempo transcurrido? Es evidente que creen en la equivalencia de estos dos enunciados, y por una razón muy sencilla: a cada instante de tiempo corresponde, efectivamente, un punto del espacio recorrido. Ahora bien, si, como dice Duhem[33], «para sacar de esta ley: *la velocidad del movimiento de un grave es proporcional a la duración de la caída*, esta otra ley: *el espacio recorrido por el grave es proporcional al cuadrado de la duración de la caída*, hubiera sido necesario que Leonardo poseyera la noción de velocidad instantánea o, en otros términos, la noción de *diferencial* o *derivada*», entonces, para verificar, pese a la correspondencia biunívoca entre los puntos de duración (los instantes) y los puntos del recorrido, la no equivalencia de esas dos dimensiones, habría sido necesario, sin duda, que Leonardo y sus sucesores hubieran dispuesto de las nociones básicas del cálculo integral.

Por otra parte, después de Arquímedes, después de Nicolás de Oresme, no sería, quizá, excesivo exigírselo. Pero no seamos demasiado severos; no abrumemos a Leonardo y a Benedetti al ver cómo, con ayuda de la noción equívoca del movimiento prolongado, pasan alegremente del tiempo al espacio, de la duración del recorrido a la trayectoria recorrida. Es más fácil —y más natural— *ver*, es decir, *imaginar* en el espacio, que *pensar* en el tiempo.

Duhem nos explica muy bien por qué ni Leonardo da Vinci ni Benedetti pudieron formular la ley exacta de la caída. Por qué le fue reservado a Galileo el hacerlo. Lo que no nos explica sin embargo es por qué de entre dos relaciones que son equiva-

---

citado por Duhem, *De l'accélération*, etc., pp. 870 ss. «La gravedad que desciende adquiere a cada grado de tiempo un grado de movimiento más que el grado de tiempo transcurrido, e igualmente un grado de velocidad más que el grado de tiempo transcurrido. Por tanto, a cada cantidad doble de tiempo, la longitud del descenso es doble, al igual que la velocidad del movimiento»; *ibid.*, fol. 45, *recto:* «La gravedad que desciende libre adquiere a cada grado de tiempo un grado de movimiento, y a cada grado de movimiento un grado de velocidad. Decimos que en el primer grado de tiempo el peso adquiere un grado de movimiento y un grado de velocidad; en el segundo grado de tiempo adquiere dos grados de movimiento y dos grados de velocidad, y así sucesivamente, como se dijo anteriormente.» Cf. *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, pp. 514 ss. Sobre la física de Leonardo da Vinci, véase R. Marcolongo, «La meccanica di Leonardo da Vinci», en *Atti della Reale Accademia delle Scienze Fisiche e Matematische di Napoli*, vol. XIX, 1932.

[33] P. Duhem, *De l'accélération*, etc., p. 872.

lentes, o que por lo menos lo son según ellos (velocidad proporcional al tiempo transcurrido, velocidad proporcional al espacio recorrido), tanto Leonardo como más tarde Galileo y Descartes escogen resueltamente la segunda. La razón nos parece, a la vez, muy profunda y muy sencilla: reside por entero en el papel desempeñado en la ciencia moderna por las consideraciones geométricas, por la inteligibilidad relativa de las relaciones espaciales [34].

El proceso del cual salió la física clásica consiste en un esfuerzo para racionalizar, o dicho de otra forma, para geometrizar el espacio y matematizar las leyes de la naturaleza. A decir verdad, se trata del mismo esfuerzo, pues geometrizar el espacio no quiere decir otra cosa que aplicar al movimiento leyes geométricas. ¿Y cómo —antes de Descartes— se podría matematizar algo sino es geometrizándolo?

Además, como acabamos de decir, es más «natural», más «fácil», imaginar en el espacio que pensar en el tiempo. Y la concepción en la que se detienen Leonardo, Benedetti y Galileo parece lo suficientemente «natural». Porque si imaginamos —como lo hace Benedetti— a cuerpos graves cayendo a través de su espacio arquimediano, ¿no nos vemos «naturalmente» empujados a admitir que caerán tanto más deprisa cuanto más se alejen de su punto de partida? Es decir, ¿cuanto de *más alto* caigan? ¿O cuanto de más bajo? ¿No es natural hacer que su velocidad esté en función del espacio recorrido? Tomemos el ejemplo de un cuerpo que cae de una altura de treinta metros. Llega al suelo a una cierta velocidad. Si ahora lo dejamos caer desde doble altura llegará al suelo a una mayor velocidad. ¿Qué cosa más «natural» que hacer que esa velocidad dependa del único factor que en los dos casos difiere: de la altura de la caída, o sea, de la longitud del camino recorrido? ¿Y qué cosa más natural que admitir una relación entre la variación de la altura y el incremento de la velocidad; poner la velocidad en función de la altura, admitir, incluso, una estricta proporcionalidad; decir: un cuerpo que cae de una altura doble adquiere, al caer, una velocidad doble? [35]. Y, respecto a esta concepción, ¿es que la idea de hacer que la velocidad con la que el cuerpo que cae recorre el espacio que atraviesa dependa no de este espacio, sino

[34] El espacio es racional —o, al menos, esquema de lo racional—, mientras que el tiempo es dialéctico. Cf. E. Meyerson, *Identité et réalité*, 3.ª edic., París, 1926, pp. 27 ss.; 276 ss.; 280 ss., *De l'explication dans les sciences*, París, 1921, vol. I, pp. 151 ss.; 261 ss.; II, pp. 204 ss., 377 ss., 380 ss.

[35] En esto es en lo que consiste el error. Pues es totalmente exacto que la velocidad depende de la altura; e incluso que no depende sino de la altura; ése es el postulado de la dinámica galileana. Cf. *infra*, pp. 237 ss.

del tiempo que tardará en recorrerlo, del tiempo que, evidentemente, está a su vez en función de su velocidad, no parece poco «natural» e incluso sumamente, inútilmente complicada?[36].

Lo que obliga al pensamiento a atribuir al tiempo, a la duración, un valor y un papel eminente en la caída es, evidentemente, el hecho de que la noción de tiempo está implícita en la de movimiento; pero también —y quizá sobre todo— es el análisis o la explicación *causal* de aquélla. Los impulsos, los *impetus* se suceden *en el tiempo;* su acción tiene lugar en primera instancia, en el tiempo, y sólo de forma derivada en el espacio. Olvidemos por un instante la relación causal, la producción de la caída, del movimiento, de la aceleración: de esta forma, el pensamiento, al no estar retenido en la pendiente, se desliza «naturalmente» hacia el espacio; la dinámica, al no poder detenerse en el estadio de la cinemática, se transforma en geometría. Y esa es la razón por la que Galileo, quien ya en Pisa reconoció la imposibilidad de basar en el concepto de *impetus* una dinámica matemática —que, como vimos, sustituye la búsqueda de una causa por la de una esencia— se desliza, a la primera, por lo que podríamos llamar la geometrización a ultranza.

Desde sus primeros trabajos en Pisa, el esfuerzo del joven Galileo, arquimediano y platónico[37], tiende hacia un fin determi-

---

[36] Galileo se da perfecta cuenta de esto. Por eso, cuando en los *Discursos* proponga su definición del movimiento uniformemente acelerado —acelerado con respecto al tiempo—, pondrá en boca de Sagredo la siguiente objeción (*Discorsi, Opere,* vol. VIII, p. 203). Sagredo: «Hasta donde comprendo por el momento, me parece que podría obtenerse mayor claridad si se pudiera definir, sin cambiar de concepto: el movimiento uniformemente acelerado es aquél en el que la velocidad aumenta como aumenta el espacio recorrido. De tal manera, por ejemplo, que la velocidad adquirida por el móvil en una caída de cuatro codos sea doble de la que habría adquirido si hubiese caído de un espacio de dos, y ésta doble de la que tendría después del primer codo. Porque estimo que no se debe dudar que el grave que viene de una altura de seis codos tiene una fuerza de percusión doble de la que tendría si hubiese caído desde tres manos, triple de la que tendría al caer de dos, y séxtuple, de una.»

Salviati: «Me consuela bastante el haber tenido tal compañero en el error. Y puedo deciros que vuestro razonamiento es de tal verosimilitud y probabilidad que nuestro autor mismo, cuando se lo he propuesto, no ha negado que durante algún tiempo él también cayó en el mismo error. Pero lo que, después, me ha maravillado en extremo, ha sido ver mostrar con cuatro palabras muy sencillas, no sólo la falsedad, sino la imposibilidad... de dos proposiciones que tienen tanto de verosimilitud que, habiéndolas propuesto a mucha gente no encontré a nadie que no las diera por buenas.» Cf. *infra,* p. 96, n. 50, la contra-objeción de Galileo.

[37] Los historiadores del pensamiento científico en general, y los de Galileo en particular, rara vez han tenido en cuenta su profundo y cons-

nado: matematizar la física. Nadie antes que él —ni siquiera Benedetti— persiguió ese fin de modo tan consciente, tan paciente, tan obstinado. En un principio, Galileo trata de matematizar la física de Aristóteles, esfuerzo que fracasa. Renueva su esfuerzo tomando como base la noción de *impetus:* de nuevo fracasa. Por lo demás —*post factum*— se comprende muy bien que así haya sido. ¿Cómo, en efecto, traducir matemáticamente la noción de *impetus,* noción vaga y confusa, muy próxima a la experiencia sensible, noción de una cualidad que no se puede medir en sí? ¿Cómo calcular el progresivo agotamiento del impulso? Sólo se podrá hacerlo sustituyendo esta noción oscura por las de movimiento y fuerza viva: transformación radical, enmascarada —y favorecida— por el mantenimiento de una terminología caduca [38]. ¿Cómo admitir la acumulación, en el móvil, de *impetus* sucesivos? Una vez más, no se podrá hacer sino a costa de la transformación radical de la concepción primitiva, sustituyendo en ella la idea de su engendramiento debido a una causa interna por la de la acción repetida de causas externas [39] (atracciones o choques), cada una de las cuales produzca un efecto perdurable.

Estas son transformaciones que sin duda Galileo no efectuará por entero: será necesario esperar a Descartes y a Newton. Pero hemos visto que desde sus primeros trabajos en Pisa, el joven Galileo descubre los vicios de los razonamientos de los Benedetti, los Cardano, los Tartaglia, cuya doctrina se basaba en un paralogismo, o en un equívoco. Es contradictorio admitir que una *causa* constante pueda producir un *efecto* variable. La caída de un grave en el espacio arquimediano no puede, de ninguna manera, ser un movimiento que por sí solo aumente su

ciente platonismo. Incluso aquéllos que lo han señalado —E. Strauss (cf. la introducción a su traducción del *Dialogo, Dialoge über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme,* Leipzig, 1891, p. XLIX), E. Cassirer (cf. *Das Erkenntnisproblem in den Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit,* vol. I, Berlín, 1911, p. 389), M. Burtt (cf. *The metaphysical foundations of modern physical science,* Londres, 1925, p. 71) y L. Olschki (cf. *Galilei und zeine Zeit,* Halle, 1927, pp. 164-174)— no han estimado en su justo valor, a nuestro parecer, ni la importancia de ese platonismo ni su carácter consciente. Cf. *infra,* p. 203, n. 122, y pp. 264 ss.

[38] Se nos podría objetar que una fórmula de agotamiento —análoga a las fórmulas de Fourrier— es perfectamente concebible y podría encontrar un hueco en una física del tipo de la de Kepler. Sin duda. A condición, precisamente, de «suponer» que el *impetus* —residuo del impulso, del esfuerzo muscular— tiene una *magnitud.*

[39] Es interesante comprobar que incluso en las teorías que emplean la atracción mutua de los cuerpos (Kepler o Newton), la relación recíproca se divide, sustituyéndola por *dos* relaciones unilaterales.

velocidad. Admitirlo sería admitir una creación *ex nihilo*. Una *causa* constante no puede producir un *efecto* que no sea constante. Y si, en realidad, un cuerpo que cae acelera su movimiento —hasta que alcanza su velocidad propia— es porque al principio está retardado.

Esta ingeniosa concepción, en la que el lector ha reconocido la de Hiparco[40], es, desgraciadamente, contradictoria en sí misma o, más exactamente, incompatible con la concepción geométrica del espacio, puesto que necesariamente presupone la noción de la tendencia del grave hacia la meta, la noción de la distancia del grave de su meta, y, por lo tanto, no deja lugar para una velocidad *constante* de la caída[41].

Galileo intenta entonces otra cosa. Inspirándose esta vez directamente en Arquímedes, trata de construir una física en términos —o, si se prefiere, siguiendo el modelo— de la hidrodinámica. Bajo la inspiración de los «antiguos», abandona toda distinción cualitativa entre «grave» y «leve»; abandona la noción del movimiento natural hacia «arriba»; en adelante, todo movimiento será explicado por la reacción —cuantitativamente determinada— del cuerpo con su medio ambiente.

Otra tentativa, más o menos contemporánea, se esfuerza en reducir las leyes del movimiento a las de la palanca. Se podría decir que Galileo trata de construir una física de relaciones rígidas[42].

No sabemos las razones por las que Galileo no prosiguió su intento de construir esta física hidrodinámica, ni tampoco el de fundar una física de relaciones rígidas. Pero quizá nos esté permitido hacer una hipótesis: tanto la física hidrodinámica como la de las relaciones rígidas exigen un espacio físico; no admiten ni la geometrización completa del espacio ni el movimiento en el vacío. Ahora bien, el movimiento en el vacío, la geometrización del espacio, son elementos indispensables de la física galileana; la aportación decisiva para él de la física del *impetus*. Al abandonar esta dinámica, Galileo conservará siempre sus conquistas.

---

[40] Véase *supra*, pp. 61-62. Galileo (*De motu*, *Opere*, vol. I, p. 321, cf. Duhem, *De l'accélération*, p. 892) afirma haber leído la exposición de la teoría de Hiparco por Alejandro después de haberse forjado su propia concepción. Es posible. Pero no deja de ser cierto que había sido expuesta por Bonamico. Véase *supra*, pp. 28-29.

[41] Podemos admitir —aunque él no nos lo diga— que Galileo no dejó de descubrir el carácter falaz de la teoría de Hiparco.

[42] Véanse *supra*, pp. 63 ss.

Debemos insistir en la importancia capital del abandono por Galileo de la noción de *impetus*, causa interna del movimiento del móvil. Sin duda conservará el término [43]; pero su significado será completamente transformado: de *causa* del movimiento, el *impetus* pasa a ser su *efecto*. En cuanto a la concepción del *impetus* como causa del movimiento, desaparece pura y simplemente. En su pensamiento esa noción bastarda, confusa, oscura, no es reemplazada por nada. O, lo que es lo mismo, es reemplazada por la de *velocidad* y *movimiento*. Ya en Pisa, al estudiar los casos abstractos y privilegiados (los casos simples) del movimiento —movimiento circular «alrededor de un centro», movimiento horizontal, límite entre el movimiento acelerado del descenso y el retardado de la subida—, Galileo aprendió que, en esos casos, contrariamente al sentido mismo de la teoría del *impetus*, el movimiento parecía ser capaz de perdurar eternamente [44]. Los teóricos del *impetus*, o al menos algunos de ellos (como Piccolomini y ya entonces Buridan), afirmaban, es verdad, que en ciertos casos —especialmente el del movimiento circular— el *impetus* era eterno (inmortal). El *impetus*, se decía, no tiene entonces ninguna resistencia que vencer; así pues, ¿por qué habría de debilitarse? Razonamiento en el que sin duda se puede reconocer el presentimiento confuso de una verdad, pero que Galileo no podía admitir tal cual. El *impetus*, definido como causa del movimiento, debía —él lo veía claro— agotarse en su producción. Si no obstante permanecía igual a sí mismo era porque no desempeñaba ningún papel en el hecho de la continuación del movimiento. No es el *impetus* el que mantiene y hace durar al movimiento: éste se conserva solo. Y como movimiento implica velocidad (como característica esencial), decir que el movimiento se conserva tal cual quiere decir, también, que la velocidad se conserva igualmente. El movimiento, como la velocidad, e incluso sobre todo esta última, modifican en cierto modo su *status* ontológico: de efectos producidos por una causa y que sólo duran y existen mientras dura la acción de la causa que los produce (ejemplo: presión), pasan a ser entes relativamente independientes que se conservan por sí solos, como se conserva por sí solo el reposo de un cuerpo que no se mueve [45]. Esto en cuanto al movimiento «abstracto». En

[43] Newton lo emplea todavía.

[44] Véase *supra*, p. 69.

[45] De este modo, el reposo y el movimiento se convertirán en *estados* y poseerán la misma dignidad ontológica. Ahora bien, para Aristóteles y la escolástica el reposo no es más que una privación, mientras que el movimiento es un proceso. De donde resulta que el reposo dura sin causa (una privación no tiene necesidad de *causa* para durar) en tanto que el

cuanto al movimiento «concreto» o «mecánico», es en Padua donde Galileo elabora la noción que, progresivamente, se desprende y se emancipa del magma confuso de la doctrina del *impetus*. En efecto, es en Padua, en el curso de mecánica que imparte, donde Galileo formula su noción de *momento*, pero multiplicado por la velocidad. Noción sin duda presentida ya por el autor de las *Cuestiones mecánicas*[46] y, todavía más, por los teóricos del *impetus* en su concepción de la pesantez accidental que ellos atribuían al movimiento mismo del grave, a su velocidad o, más exactamente, a su *impetus*. Duhem tuvo toda la razón al insistir en este hecho, pero, sin embargo, no advirtió la transformación decisiva que esta concepción sufre en Galileo[47].

Ciertamente, la noción galileana de *momento* implica para el movimiento —o la velocidad— concretos esta elevación de dignidad ontológica de la que acabamos de hablar; no hay necesidad de *impetus*-causa, ni de intermediario alguno: el movimiento se combina *directamente* con la pesantez. En pocas palabras: el movimiento, o la velocidad, sustituyen, pura y simplemente, al *impetus*. Sustitución, claro es, llena de consecuencias muy serias: en efecto, mientras que el *impetus* no *podía* conservarse al producir el movimiento y, por lo tanto, éste *debía necesariamente* perder velocidad y finalmente llegar al reposo, el movimiento, o la velocidad, elevados al rango de entes independientes, pueden conservarse *indefinidamente*. El cuerpo, una vez puesto en movimiento, no tiene necesidad de detenerse, ni siquiera de disminuir de velocidad. Las bases de la solución correcta del problema de la caída de los cuerpos están, pues, ya presentes.

---

movimiento sólo existe como efecto de la causa que lo mantiene. Por ello se aplica a éste el principio *cessante causa cessat effectus*. Véase *infra*, página 122.

[46] *Quaestiones mechanicae*, II, p. 24.

[47] La persistencia de la terminología —todavía habla Newton de *impetus*— engañó a Duhem, quien no notó la profunda transformación que esta noción, o este término, experimenta en Galileo. Esta incomprensión explica, pero no justifica, juicios como éste, donde cada palabra es falsa (P. Duhem, *De l'accélération*, etc., p. 888): «... aun a riesgo de chocar con ideas preconcebidas y contradecir leyendas, nos es necesario afirmar estas proposiciones: las opiniones profesadas por Galileo con respecto a la dinámica llevan la huella profunda de los principios peripatéticos, se apartan muy poco de las doctrinas admitidas por buen número de físicos del siglo XVI, y están notoriamente atrasadas con respecto a las intuiciones de algunos de sus predecesores». Juicios análogos en *Les origines de la statique*, vol. I, París, 1905, pp. 260 ss., y en los *Etudes sur L. de Vinci*, volumen III, pp. 560 ss., no están mejor fundamentados.

Cuando en 1604 Galileo aborda de nuevo el problema de la caída de los graves, posee, como hemos visto, las fórmulas que asocian la duración de la caída al espacio recorrido; posee, como acabamos de ver, el principio cardinal de la conservación del movimiento y de la velocidad. En cambio, renuncia a todo intento de explicación causal, y no busca más que un principio, un axioma que permita deducir las leyes descriptivas de la caída. Ahora bien, como hemos visto también, era la consideración causal la que en el análisis del movimiento (del movimiento en general, y del de la caída en particular) ponía en primer plano la noción de tiempo. No es, pues, de extrañar, que la renuncia a la explicación causal refuerce la tendencia a la geometrización y, por consiguiente, a la espacialización. En lugar de pensar en el movimiento, Galileo se lo representa. Ve la línea, el espacio recorrido con una velocidad variable. Y esta línea —trayectoria— es la que toma como argumento de la función, velocidad. El esfuerzo de geometrización, sostenido y corroborado por la imaginación y no obstaculizado por el pensamiento causal, rebasa la meta que se había asignado: la meta de la dinámica era matematizar el tiempo; ahora bien, Galileo lo elimina. El esfuerzo realizado termina en un fracaso. Fracaso que Galileo no nota al principio. Pues al rehacer en sentido inverso el razonamiento que le ha llevado de unas fórmulas descriptivas correctas a un principio erróneo, encuentra, partiendo de este principio, las consecuencias de las que había partido.

He aquí lo que escribe sobre el particular[48]:

---

[48] Galileo Galilei, *Frammenti attenenti ai Discorsi*, etc., *Opere*, vol. VIII, página 373. «*Io suppongo (e forse potrò dimostrarlo) che il grave cadente naturalmente vada continuamente accrescendo la sua velocità secondo che accresce la distanza dal termine onde si partì: come v. g. partendosi il grave dal punto* a *e cadendo per la linea* ab, *suppongo che il grado di velocità nel punto* d *sia tanto maggiore che il grado di velocità in* c, *quanto la distanza* da *è maggiore della* ca, *e così il grado di velocità in* e *esser al grado di velocità in* d *come* ea *a* da, *e così in ogni della linea* ab *trovarsi con gradi di velocità proporzionali alle distanze de i medesimi punti dal termine* a. *Questo principio mi par molto naturale, e che risponda a tutte le esperienze che veggiamo negli strumenti e machine che operano percottendo, dove il percuziente fa tanto maggiore effetto, quando da più granda altezza casca: e supposto questo prinzipio, dimostrerò il resto.*

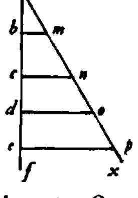
Faccia la linea ak *qualcunque angolo con la* af *e per li puncti* c, d, e, f, *siano tirate le parallele* cg, dh, ei, fk: *e perchè le linee* fk, ei, dh, cg *sono tra di loro come le* fa, ea, da, ca, *adunque le velocità ne i punti* f, e, d, c *sono come le linee* fk, ei, dh, cg. *Vanno dunque continuatamente crescendo i gradi di velocità in tutti i punti della linea* af *secondo l'incremento delle parallele tirate da tutti i medesimi punti. In oltre, perchè la velocita con la quale il mobile è venuto da* a *in* d *è composta di tutti i gradi di velocità auti in tutti i punti della linea* ad, *e la velocità con che ha passata la li-*

«Supongo (y quizá podré demostrarlo) que el grave que cae naturalmente va aumentando sin cesar de velocidad en la medida en que aumenta la distancia del punto del que parte; así, por ejemplo, si el grave parte del punto *a* y cae por la línea *ab*, supongo que el grado de velocidad en el punto *d* será tanto mayor que el grado de velocidad en *c* cuanto mayor sea la distancia *da* que *ca;* así pues, el grado de velocidad en *c* será al

---

nea ac *è composta di tutti i gradi di velocità che ha auti in tutti i punti della linea* ac *adunque la velocità con che ha passata la linea* ad *alla velocità con che ha passata la linea* ac, *ha quella proporzione che hanno tutte le linee parallele tirate da tutti i punti della linea* ad *sino alla* ah, *a tutte le parallele tirate da tutti i punti della linea* ac *sino alla* ag; *e questa proporzione e quella che ha il triangolo* adh *al triangolo* acg, *ciò è il* □° ad *al* □° ac. *Adunque le velocità con che si è passata la linea* ad, *alla velocità con che si è passata la linea* ac, *ha doppia proporzione di quella che ha* da *a* ca. *E perchè la velocità alla velocità ha contraria proporzione di quella che ha il tempo al tempo (imperò che il medesimo è crescere la velocità che sciemare il tempo), adunque il tempo del moto in* ad *al tempo del moto in* ac *ha subduplicata proporzione di quella che ha la distanza* ad *alla distanza* ac. *Le distanze dunque dal principio del moto sono come i quadrati de i tempi, e, dividendo, gli spazii pasatti i tempi eguali sono come i numeri impari* ab unitate: *che risponde a quello che ho sempre detto e con esperienze osservato; e così tutti i veri si rispondono.*

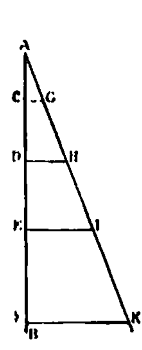
E se queste cose son vere, io dimostro che la velocità nel moto violento va decrescendo con la medesima proporzione, con la quale, nella medesima linea retta, cresce nel moto naturale. Imperó che sia il principio del moto violento il punto b *ed il fine il termine* a. *E perchè il projetto non passa il termine* a, *adunque l'impeto che la auto in* b *fu tanto, quanto poteva cacciarlo sino al termine* a; *e l'impeto che il medesimo projetto ha in* f *è tanto, quanto può cacciarlo al medesimo termine* a: *e sendo il medesimo projetto in* e, d, c, *si trova congiunto con impeti potenti a spingerlo al medesimo termine* a, *nè più, nè meno: adunque l'impeto va giustemente calando secondo che sciema la distanza del mobile dal termine* a. *Ma secondo la medesima proporzione delle distanze dal termine* a *va crescendo la velocità, quando il medesimo grave caderà dal punto* a, *come di sopra si è supposto e confrontato con le altre prime nostre osservazioni e dimostrazioni: adunque è manifesto quello che volevamo provare.*» Cf. también páginas 380 y 383: «Assumo, eam esse cadentis mobilis per linean *al* accelerationem, ut pro ratione spacii peracti crescat velocitas ita, ut velocitas in *c* ad velocitatem in *b* sit ut spacium *ca* ad spacium *ba*, etc. Cum autem haec ita se habeant, ponatur *ax* cum *al* angulum continens, sumptisque partibus *ab, bc, cd, de*, etc., aequialibus, protrahantur *bm, cn, do, ep*, etcétera. Si itaque cadentis per *al* velocitates in *b, c, d, e*, locis se habent ut distantiae, *ab, ac, ad, ae*, etc., ergo se quoque habebunt ut lineae *bm, cn, do, ep*.



Quia vero velocitas augetur consequenter in omnibus punctis lineae *ae*, et non tantum in adnotatis *b, c, d*, ergo velocitates illae omnes sese respicient ut lineae quae ab omnibus dictis punctis lineae *ae* ipsis *bm, cn, do* aequidistanter producuntur. Istae autem infinitae sunt et constituunt triangulum *aep:* ergo velocitates in omnibus punctis lineae *ab* ita se habent

grado en *d* como *ca* es a *da*, y, así, en cada punto de la línea *ab* el grave tendrá un grado de velocidad proporcional a la distancia de este mismo punto al punto *a*. Este principio me parece muy natural, y responde a todos los experimentos comprobados con las máquinas e instrumentos que actúan por percusión, donde la percusión tiene un efecto tanto mayor cuanto mayor es la altura de la caída. Y admitido este principio, demostraré el resto.

»Supongamos que la línea *ak* hace un ángulo cualquiera con la (línea) *af*, y que por los puntos *c, d, e, f* se trazan las paralelas *cg, dh, ei, fk*. Puesto que las líneas *fk, ei, dh, cg* son entre sí como las (líneas) *fa, ea, da, ca* (entre sí), las velocidades en los puntos *f, e, d, c*, son, por lo tanto (entre sí), como las líneas *fk, ei, dh, cg*. Los grados de velocidad aumentan, pues, en todos los puntos de la línea *af*, según aumentan las paralelas trazadas por estos puntos. Por otra parte, puesto que la velocidad a la que el móvil ha pasado de *a* a *d* está compuesta por todos los grados de velocidad que ha adquirido en todos los puntos de la línea *ad*, y puesto que la velocidad con la que ha atravesado la línea *ac* está compuesta por todos los grados de velocidad que ha adquirido en todos los puntos de la línea *ac*, se deduce que la velocidad con la que ha atravesado la línea *ad* es a la velocidad con la que ha atravesado la línea *ac* lo que todas las líneas paralelas trazadas por todos los puntos de la línea *ad* hasta *ah* son a todas las paralelas trazadas desde la línea *ac* hasta la línea *ag*; y esta proporción es la del triángulo *adh* al triángulo *acg*, es decir la del cuadrado de *ad* al cuadrado de *ac*; de este modo, la velocidad con la que se ha atravesado la línea *ad* guarda con la velocidad con que se ha atravesado la línea *ac* una proporción doble de la que tiene *da* respecto a *ca*. Y puesto que la relación de la velocidad con la velocidad está en proporción inversa de la que guarda el tiempo con el tiempo (pues aumentar la velocidad es lo mismo que disminuir el tiempo), se sigue que el tiempo del movimiento en *ad* guarda con relación al tiempo del movimiento en *ac* una proporción sub-



---

ad velocitates in omnibus punctis lineae ut triangulus *abm* ad triangulum *acn*, et sic de reliquis, hoc est in duplicata proportione linearum *ab, ac*.

Quia vero pro ratione incrementi accelerationis tempora quibus motus ipsi fiunt debent imminui, ergo tempus quo mobile permeat *ab* ad tempus quo permeat *ac* erit ut *ab* linea ad eam quae inter *ab, ac*, media proportionalis existit.»

dupla de la que tiene la distancia *ad* con respecto a la distancia *ac*. Las distancias al punto de partido son, pues, como los cuadrados de los tiempos, y, por consiguiente, los espacios atravesados en tiempos iguales son entre sí como los números impares *ab unitate;* lo que corresponde a lo que siempre he dicho, y a las experiencias observadas. Y así pues, todos los hechos concuerdan. Y si estas cosas son ciertas, demuestro que la velocidad, en el movimiento violento, decrece en la misma proporción con que crece (la velocidad) en el movimiento natural a lo largo de la misma línea recta.»

El razonamiento de Galileo es plausible. Y sin embargo, falso, pues como se ve fácilmente, contiene un doble error[49]. Sin duda es cierto que las relaciones entre las velocidades son inversas a las de los tiempos; a condición de que la base de comparación, es decir, el espacio recorrido, sea el mismo, y no, como en nuestro caso, diferente. Y también es cierto que la velocidad total del móvil es la suma de las velocidades (instantáneas) que adquiere en todos los puntos de su recorrido, como es asimismo la suma de las velocidades que adquiere en todos los instantes de su movimiento. Pero estas «sumas» no son iguales: el incremento constante y uniforme con relación al tiempo no lo será con respecto al espacio y a la inversa, y en especial las «sumas» de las velocidades que se incrementan en función lineal del espacio recorrido no podrán ser representadas por triángulos. Esta representación no es válida más que para un incremento uniforme con relación *al tiempo*. Una vez más, Galileo geometriza a ultranza y *transfiere al espacio lo que es válido para el tiempo*.

Es curioso observar que Galileo se dará cuenta de su error[50]

---

[49] Cf. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, pp. 570 ss.

[50] He aquí el razonamiento de Galileo (véase *Discorsi*, etc., *Opere*, volumen VIII, p. 204) que tanto Duhem (*op. cit.*, p. 578) como Caverni (*Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bolonia, 1895, p. 295) encuentran concluyente: «Cuando la velocidad guarda la misma proporción que los espacios atravesados o por atravesar, esos espacios serán atravesados en tiempos iguales. Pues si la velocidad con la que el grave atraviesa el espacio de cuatro codos fuera doble de la velocidad con la cual ha atravesado los dos primeros pies (puesto que el espacio es doble del espacio), los tiempos de estos movimientos serían iguales. Pero un mismo móvil no puede atravesar los cuatro codos y los dos, en idéntico tiempo, si no es en un movimiento instantáneo, y hemos visto que el grave que cae ejecuta su movimiento en el tiempo, y pasa los dos pies en un tiempo menor que los cuatro. Por consiguiente, es falso que la velocidad se incremente como el espacio.» Este razonamiento contiene un error análogo al del razonamiento a que más arriba hemos aludido: Galileo aplica aquí al movimiento cuya velocidad aumenta proporcionalmente al espacio recorrido un cálculo que sólo es válido para el movimiento uniformemente acelerado (con

(el error en la elección del principio-definición del movimiento acelerado de la caída), mientras que, diga lo que diga Duhem, Descartes no lo hará jamás. Aún es más curioso comprobar que el razonamiento mediante el cual intenta Galileo demostrar lo absurdo del principio que, al comienzo, le parecía tan «natural» es, también, totalmente erróneo[51].

Pero quizá no fuera este razonamiento especioso (que presupone el conocimiento del método de deducción correcto) el que guió al pensamiento de Galileo. Es más verosímil suponer que su fracaso se le puso más directamente de manifiesto en el hecho mismo de que su «principio axiomático» no podía desempeñar el papel que él deseaba asignarle; era evidentemente imposible deducir de él las fórmulas descriptivas[52]. Era incluso imposible —para Galileo— utilizarlo correctamente. Es probable que esto fuera suficiente; es posible que un examen reiterado del problema le hiciera ver a Galileo dónde estaba su error. Éste radicaba, sin ninguna duda, en la omisión de la «afinidad suprema entre el movimiento y el tiempo»[53]. Y, quizá también, en la omisión del factor causal. El elogio que más tarde hizo del concepto de atracción formulado por Gilbert[54], la admiración que siempre sintió por el gran físico inglés[55], hacen esta hipótesis bastante verosímil[56]: el cuerpo que cae acelera su movimiento porque, a cada instante, experimenta la misma acción instantánea —la atracción— de la tierra. Y la fórmula —definición esencial— del movimiento acelerado debe tomar como base no el espacio sino el tiempo.

II. DESCARTES

Volvámonos ahora hacia Descartes.

Fue en 1618 cuando, por casualidad, Isaac Beeckman conoció a M. du Perron. No tardó mucho Beeckman en descubrir los

respecto al tiempo). Véanse E. Mach, *Mechanik*, 8.ª edic., Leipzig, 1921, página 245, y P. Tannery, *Mémoires scientifiques*, vol. VI, pp. 400 ss.

[51] Una deducción correcta habría conducido a Galileo a las fórmulas encontradas por Descartes; cf. *infra*, p. 115.

[52] En efecto, la fórmula sería una función exponencial.

[53] Expresión de Galileo, véase *infra*, p. 128.

[54] Véase *infra*, p. 246, n. 255.

[55] Sin embargo, Galileo no adoptará nunca las *teorías* de Gilbert; ni intentará nunca utilizar la noción gilbertiana de atracción para formular la teoría de la caída de los cuerpos. Esto tiene fácil explicación: la física de Gilbert es animista, y nadie antes de Newton, ni siquiera Kepler, sabrá matematizar la atracción.

[56] Cf. P. Duhem, *De l'accélération...*, p. 907.

extraordinarios dones con que la Naturaleza había colmado al joven francés[57]. Por ello se dirigirá a Descartes pidiéndole que le ayude a resolver el terrible problema de la caída acelerada de los graves.

La historia de la colaboración Beeckman-Descartes, verdadera comedia de errores, ha sido contada ya más de una vez[58]. No obstante, creemos que no resulta inútil detenernos en ella una vez más.

Beeckman no pregunta a Descartes por qué, en general, caen los cuerpos; lo sabe. Sin duda lo ha aprendido en Gilbert[59], o en Kepler. Los cuerpos caen porque la tierra los atrae. Tampoco pregunta por qué se aceleran: lo sabe igualmente. Los cuerpos se aceleran al caer porque a cada instante de su movimiento son atraídos de nuevo por la tierra, y estas nuevas atracciones les confieren, a cada instante, un grado de movimiento nuevo, mientras dura el movimiento de que estaban animados. En efecto, ya en 1613, Beeckman había formulado esta importante proposición: *lo que una vez es puesto en movimiento, sigue eternamente en movimiento.* Ya en 1613 conocía la ley de la conservación del movimiento[60].

---

[57] Por otra parte, Descartes no era de los que se callaban. Cf. *Journal de Beeckman*, Descartes, *Oeuvres*, ed. A. T., vol. X, p. 331: «Is dicebat mihi se in arithmeticis et geometricis nihil amplius optare: id est se tantum in iis his novem annis profecisse quantum humanum ingenium capere possit.»

[58] Véanse, en especial, P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les précurseurs parisiens de Galilée*, París, 1913, pp. 566 ss., y G. Milhaud, *Descartes savant*, París, 1920, pp. 25 ss. Cf. también J. Sirven, *Les années d'apprentissage de Descartes*, París, 1928.

[59] La obra de Gilbert (Guilielmi Gilberti Colchestrensis *De Magnate*... Londini MDC), que hacía de la tierra un imán y explicaba la caída por la atracción terrestre, tuvo gran repercusión, y desempeñó un papel de primer orden en la evolución y en la transformación de las concepciones físicas. Por ello será muy alabado por Galileo, y seguido por Kepler, Gassendi y Newton. Sin duda, la concepción que Gilbert tenía de la atracción —fuerza maravillosa y comparable al alma— era contraria al espíritu de la nueva ciencia, y, por lo tanto, inutilizable para Galileo y Descartes. Pero justamente a eso se encaminarán los esfuerzos de Gassendi y Newton: a transformar la atracción gilbertiana en una fuerza no dirigida hacia su objeto.

[60] *Journal de Beeckman*, 1613, Descartes *Oeuvres*, ed. A. T., vol. X, p. 60, nota f: «Mota semel nunquam quiescunt, nisi impediantur. Omnis res semel mota nunquam quiescit, nisi propter externum impedimentum. Quoque impedimentum est imbecillius, eo diutius mota movetur: si enim aliquid in altum projiciatur si nulque circulariter moveatur, ad sensum non quiescet ante reditum in terram; et si quiescat tandem id non fit propter impedimentum aequabile, sed propter impedimentum inaequabile, quia alia atque alia pars aeris vicissim rem motam tangit.» Sin embargo, no confundamos, como todavía se hace con mucha frecuencia, así, por ejemplo, lo hace Duhem (cf. *De l'accélération*, etc., p. 904), y antes que él Wohlwill,

Todo esto —y ya es mucho— es la estructura física del problema y Beeckman lo sabe, pues, *antes* de encontrarse con Descartes; pero aun comprendiendo perfectamente (mucho mejor que Descartes) el lado *físico* de la cuestión, es incapaz de

---

la ley de la conservación del movimiento con la ley de la inercia. La ley de la inercia implica la persistencia del movimiento *en línea recta;* la ley de la conservación del movimiento no implica nada que se le parezca. Por eso Beeckmann cree en la persistencia del movimiento circular y nos explica la persistencia del movimiento circular de los planetas por la fácilmente observable de un candelabro suspendido de un hilo, pues piensa que la ley de la conservación es válida de manera general (A. T., vol. x, página 225): «eo modo quo in recto motu valeat hoc theorema: *quod semel movetur semper eo modo movetur dum ab extrinseco impediatur.* In vacuo vero nulla tales consideratio habenda; magnum enim corpus, parvum, grave, leve, magna aut parva superficie, hac sive illa figura, etc. semper eo modo quo semel motum est, pergit moveri, his accidentibus nihil impedimenti afferentibus. Praeterea cum candelabra eo modo moventur que dico annuum motum terrae fieri, si abscisso fune fieri posse, ut candelabra in aere elevata manerent neque deciderent, sed ut astra in caelo, sic haec in aere vagarentur, nulla ratio videtur esse cur non pergerent circulariter moveri, usque dam saepius aeri occursando impedita». El caso de Beeckman no es único: Hobbes creerá, como él, en la persistencia del movimiento circular. Por eso no es a él, ni tampoco a Galileo, sino únicamente a Descartes, a quien corresponde la gloria de haber sido el primero en concebir y formular claramente la ley de la inercia.

Esas líneas estaban escritas, e incluso impresas, cuando la publicación por Cornélis de Waard de nuevos fragmentos del *Journal* de Beeckman (*Correspondance du P. Marin Mersenne,* vol. II, París, 1936), pp. 118 ss., 123 ss., 235 ss., 280 ss., etc., modificó sensiblemente la imagen que se tenía, o, más exactamente, que no se tenía del físico holandés, y nos hizo deplorar amargamente que su precioso diario permaneciera inédito. En efecto, ahora nos damos cuenta de que Beeckmann se merece plenamente el calificativo de *vir ingeniosissimus* con el que le había gratificado Descartes; y, lo que es más, ahora lo vemos como un eslabón de primera importancia en la historia de la evolución de las ideas científicas; finalmente, su influencia sobre Descartes parece haber sido mucho más profunda de lo que hasta aquí se ha supuesto; en particular, varias de las leyes del movimiento y del choque formuladas por Descartes en sus *Principios* tienen su modelo en las que había establecido Beeckmann (cf. *Correspondance,* II, Ap. I, A, páginas 633 ss.); además Beeckman, erudito y muy al corriente de la literatura científica contemporánea, dio, sin duda, a conocer a Descartes obras que éste no había leído.

Beeckman pertenece a una corriente de pensamiento que se puede calificar de bruniano-gilbertiana. Al igual que Bruno, admite la inifinitud del Universo y un número infinito de estrellas fijas; al igual que él, es partidario del vacío, al que identifica con el éter y la materia sutil; al igual que Gilbert y Kepler, en ese éter ve la fuente y el agente de la atracción; mucho antes que Descartes y que Pascal, explica la subida de los líquidos en los tubos cerrados por la presión atmosférica; y, lo que aquí nos interesa muy particularmente, formula antes que Descartes el principio de la conservación del movimiento, rechaza la noción de *impetus* y da una respuesta correcta al problema del lanzamiento. Así, pues, ya en 1620 proclama que *motus a Deo semel creatus non minus quam corporeitas ipsa in aeternum conservatur,* y aunque, no sabiendo cómo explicar desde ese

dominarlo *matemáticamente*[61]. De los principios que posee no puede Beeckman deducir las consecuencias; no puede hallar la fórmula que le permita calcular la velocidad y el camino recorrido por el grave[62].

Y es esto lo que le pregunta a Descartes.

Le pregunta, pues[63]: «Admitiendo mis principios, a saber,

---

punto de vista el hecho indudable de la detención (y, por consiguiente, de la desaparición del movimiento) cuando se produce un choque de cuerpos blandos, escribe (*Correspondance,* II, p. 123): «His ita positis, nunquam motus in vacuo potest intelligi ad celeriorem motum vergere, sed omnia tandem spectare ad quietem propter aequales occursus. Unde sequitur Deum opt. max. solum potuisse motum conservare movendo semel maxima corpora minima celeritate, quae deinceps reliqua ad quietem semper spectantia perpetuo resuscitant et vivificant»; ya en 1629 afirma que esta desaparición es sólo aparente y que el movimiento se conserva dividiéndose entre las partes y los átomos que componen los cuerpos (cf. *ibid.*, páginas 259 ss.). Ya en 1614 se opone a la noción de *impetus* (*ibid.*, p. 236): «Lapis, projectus in vacuo, perpetuo movetur: obstat autem ei aer, qui novus semper ei occurit atque ita efficit ut motus ejus minuatur. Quod vero philosophi dicunt vim lapidi imprimi, absque ratione videtur; quis nempe posse concipere, quid sit illa aut quomodo lapidem in motu contineat, quave in parte lapidis sedem figat? Facillime autem mente quis concipiat in vacuo motum nunquam quiescere, quia nulla causa mutans motum, occurrit; nihil enim mutatur absque aliqua causa mutationis»; y en 1618, en uno de los *Corolarios* de las tesis que había defendido en Caen, proclama (*ibid.*, p. 237): «Lapis e manu emissus pergit moveri non propter vim aliquam ipsi accedentem, nec ob fugam vacui, sed quia non potest non perseverare in eo motu, quo in ipsa manu existens movebatur.» Como se ve, los méritos de Beeckman son inmensos. Sin embargo, no los exageremos y no le atribuyamos, como hace su docto editor, el descubrimiento del principio de inercia (cf. *Correspondance,* II, pp. 122, 236, 272). Pues cuando Cornélis de Waard escribe (p. 236): «En la primera de sus notas lo aplica, equivocadamente, sólo al movimiento celeste y circular, pero poco tiempo después (julio de 1613-abril de 1614) lo hace extensivo a los movimientos rectilíneos: «*Omnis res semel mota, nunquam quiescit nisi propter externum impedimentum: quoque impedimentum est imbecillius, eo diutius mota movetur...*», comete el mismo error que el propio Beeckman, quien afirma (*ibid.*, p. 360): «*Id quod semel movetur in vacuo, semper movetur, sive secundum lineam rectam seu circularem tam super centro suo, qualis est motus diurnus Terrae et annuus*», sin observar —de lo que en modo alguno le culpamos— que la conservación del movimiento circular, y la del movimiento rectilíneo, son *rigurosamente incompatibles.*

[61] Habrá que esperar treinta años al menos hasta el *De motu impresso a motore translato* de Gassendi (París, 1643) —¡ y aún así!— para encontrar una concepción tan clara del mecanismo de la caída. Insistimos en los méritos de Beeckman porque nos parece que han sido demasiado ignorados.

[62] Lo que, dicho sea de paso, invalida la opinión de Duhem sobre la difusión general, en los siglos XVI y XVII, de la fórmula o regla de Oresme (véase Duhem, *Etudes sur L. de Vinci,* vol. III, pp. 580 ss. y *passim*). Nuestra impresión, por el contrario, es que era casi desconocida.

[63] Véase Descartes y Beeckman, *Physico-mathematica, Oeuvres,* A. T. volumen X, pp. 75 ss.

que *lo que es puesto en movimiento se mueve eternamente en el vacío*, y suponiendo un vacío entre la tierra y la piedra que cae, ¿se puede saber qué espacio recorrerá en una hora el cuerpo que cae, si se conoce el que recorre en dos horas?».

Es curiosa la formulación de la pregunta. Beeckman no pregunta, como parecería lo natural: ¿se puede saber qué espacio recorrerá *en dos horas*, el cuerpo que cae, cuando se conoce el que recorre en una sola hora? Como hemos visto, plantea la pregunta al revés.

Es evidente que Beeckman, quien en efecto ve la caída no ya como un movimiento «natural» sino como resultado de la atracción terrestre sobre el cuerpo —que por sí solo no experimenta tendencia alguna a moverse a un lado en lugar de a otro sino, e incluso, en general, a moverse en absoluto (el cuerpo permanece naturalmente en reposo a menos que alguna fuerza *exterior* lo ponga en movimiento, en cuyo caso persevera en su nuevo estado de movimiento al igual que se mantenía en reposo)—, no puede concebir la caída más que como un movimiento que tiene una meta natural y normal —la tierra— y no ya, como lo conciben Benedetti o el joven Galileo, como un movimiento capaz de prolongarse indefinidamente[64]. Por eso se lo imagina como un movimiento que va de A a B: de lo alto de una torre, o de un punto cualquiera por encima de la tierra, a ésta. Este movimiento —el movimiento total— es el que podemos medir, es decir, medir la distancia recorrida y el tiempo empleado. De aquí debemos partir para reconstruir, mediante el análisis, las fases anteriores[65].

Descartes no concebirá de la misma manera el movimiento de la caída. Por eso su respuesta será inexacta. Pero Beeckman no se dará cuenta.

He aquí, en efecto, lo que, según Beeckman, a la pregunta de «por qué la piedra, al caer en el vacío, cae a una velocidad cada vez mayor» responde Descartes «partiendo de los principios» de Beeckman[66]: «Cuando existe un vacío entre el cuerpo

---

[64] Es curioso observar que la concepción de Beeckman, muy natural en suma para un copernicano, aunque constituye un progreso notable con respecto a la de Benedetti y la del joven Galileo, se asemeja, por otra parte, a la concepción tradicional de la caída, movimiento dirigido *hacia una meta*.

[65] Galileo, como se ha visto —y como se verá—, no razona de ese modo. Parte siempre de la concepción benedetiana del espacio arquimediano y estudia el movimiento de la caída *como un tipo particular de movimiento*. No parte del caso concreto.

[66] Véase *Journal de Beeckman*, en Descartes (*Oeuvres*, ed. A. T., vol. x, página 58): «Lapis cadens in vacuo cur semper celerius cadat: Moventur

y la tierra, el cuerpo se mueve hacia abajo, hacia el centro de la tierra, de la manera siguiente: en el primer momento, el cuerpo atraviesa todo el espacio que puede a consecuencia de la tracción[67] de la tierra; en el segundo [momento], persevera en ese movimiento, al que se añade un nuevo movimiento de tracción, de tal forma que, en este segundo momento, atraviesa un espacio doble. En el tercer momento se mantiene el doble espacio[68], al que se añade, como consecuencia de la tracción de la tierra, un tercero, de tal forma que, en un sólo momento, atraviesa un espacio triple del primero».

Estas consideraciones que, como enseguida veremos, son la transposición beeckmaniana del razonamiento cartesiano, permiten resolver correctamente el problema planteado y calcular el tiempo de la caída. Continuemos, pues, el informe de Beeckman[69]: «Pero, como estos momentos son indivisibles, el espacio

---

res deorsum ad centrum terrae, vacuo intermedio spatio existente, hoc pacto; Primo momento, tantum spacium conficit, quantum per terrae tractionem fieri potest. Secundo, in hoc motu perseverando superadditur motus novus tractionis, ita ut duplex spacium secundo momento peragretur. Tertio momento, duplex spacium perseverat, cui superadditur ex tractione terrae tertium, ut uno momento triplum spacii primi peragretur.»

[67] Pasaje de importancia capital, porque muestra claramente la diferencia que existe entre la noción de atracción y la de tendencia: la atracción actúa *desde fuera, atrae* al cuerpo hacia la tierra. El movimiento de la caída es, pues *—horribile dictu—*, un movimiento violento. Sin duda, al hacer Kepler mutua la atracción hará menos chocante la situación; pero Descartes asimilará definitivamente el movimiento natural de la caída al movimiento violento producido por el choque. Véanse pp. 124 ss.

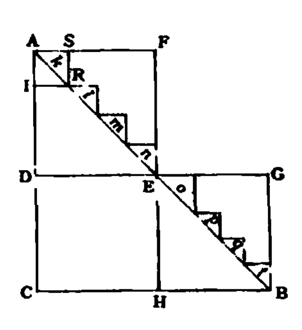
[68] «Se mantiene el doble espacio» *—duplex spatium perseverat—*; se mantiene la doble velocidad, es decir, la que hace atravesar en un momento un espacio doble.

[69] *Journal de Beeckman*, A. T., vol. x, p. 58: « *Lapis cadentis tempus supputatum:* Cum autem momenta haec sint individua, habebit spacium per quod res una hora cadit ADE. Spatium per quod duabus horis cadit, duplicat proportionem temporis, id est ADE ad ACB, quae est duplicata proportio AD ad AC. Sit enim momentum spatii per quod res una hora cadit alicujus magnitudinis, videlicet ADEF. Duabus horis perficiet talia tria momenta, scilicet AFEGBHCD. Sed AFED constat ex ADE cum AFE; atque AFEGBHCD constat ex ACB cum AFE et EGB id est cum duplo AFE.

Sic si momentum sit AIRS, erit proportio spatii ad spatium, ut ADE cum *klmn*, ad ACB cum *klmnopqt*, id est etiam duplum *klmn*. Ast *klmn* est multo minus quam AFE. Cum igitur proportio spatii peragrati ad spatium peragratum constet ex proportione trianguli ad triangulum, adjectis utrique termino aequalibus, cumque haec aequalia adjecta semper eo minora fiant quo momenta spatii minora sunt: sequitur haec adjecta nullius quantitatis fore quando momentum nullius quantitatis statuitur. Tale autem momentum est spatii per quod res cadit. Restat igitur spatium per quod res cadit una hora se habere ad spatium per quod cadit duabus horis, ut triangulum ADE ad triangulum ACB.

Haec ita demonstravit M. Perron, cum ei ansam praebuissem, rogando an possit quis scire quantum spatium res cadendo conficeret unica hora,

que atraviesa el cuerpo en su caída será, en una hora, ADE. El espacio que (al caer) atraviesa en dos horas dobla la proporción del tiempo, es decir pasa de ADE a ACB, que es la doble proporción de AD a AC. Supongamos que el momento del espacio que el cuerpo atraviesa en una hora al caer es de un tamaño cualquiera, por ejemplo, ADEF. En dos horas atravesará tres momentos parecidos, es decir AFEGBHCD. Pero AFED se compone de ADE con AFE. Y AFEGBHCD se compone de ACB con AFE y EGB, es decir, con el doble de AFE.



»Así pues, si el momento es AIRS, la proporción de los espacios será ADE con *klmn* a ACB con *klmnopqt*, o sea una vez más el doble de *klmn*. Pero *klmn* es mucho menor que AFE. Como entonces la proporción del espacio atravesado al espacio atravesado se compone de la proporción de un triángulo a otro triángulo, a cuyos términos [de la proporción] se añaden [magnitudes] iguales, y como estos añadidos iguales se hacen tanto menores cuanto menores son los momentos del espacio, resulta que estos añadidos llegan a ser de cantidad nula cuando el momento es de magnitud nula. Ahora bien, tal es el momento del espacio por el cual cae el cuerpo. Queda entonces que el espacio por el que cae el cuerpo en una hora se relaciona al espacio por el cual cae en dos horas como el triángulo ADE al triángulo ACB.

»Si, por lo tanto, se hiciera la experiencia de que un cuerpo al caer atraviesa 1 000 pies, el triángulo ABC contendría 1 000 pies [70]. Por tanto, la raíz es 100 para la línea AC, que corres-

---

cum scitur quantum conficiat duabus horis, secundum mea fundamenta, viz. *quod semel movetur, semper movetur, in vacuo* et supponendo inter terram et lapidem cadentem esse vacuum. Si igitur experientia compertum sit, lapidem cecidisse duabus horis per mille pedes, continebit triangulum ABC 1000 pèdes. Hujus radix est 100 pro linea AC quae respondit horis duabus. Bisecata ea in D, respondet AD uni horae. Ut igitur se habet proportio AC ad AD duplicata, id est 4 ad 1, sic 1000 ad 250, id est ACB ad ADE.»

[70] Observemos de paso que, al igual que Galileo, Descartes no representa *el espacio recorrido* por el cuerpo que cae por una línea, sino *por una superficie*. Lo que ocurre es que ni Galileo ni Descartes piensan en primer lugar en el espacio recorrido; piensan en el movimiento efectuado. El «momento» indivisible del que habla Descartes no es un «instante»: es exactamente lo mismo que el «grado de velocidad» del que habla Galileo; es un movimiento o una velocidad instantáneos, el mínimo, o, si se prefiere, la diferencial del movimiento. Como tal —movimiento— tiene ne-

ponde a dos horas. Dividida en mitades iguales por D, AD corresponderá a una hora. Así como se comporta la proporción doble de AC a AD, es decir 4 a 1, se comporta también 1 000 a 250, o sea ACB a ADE».

La solución es, a la vez, elegante y correcta: se reconoce que los espacios recorridos son proporcionales a los cuadrados de los tiempos. Pero ésta no es la solución de Descartes: Beeckman, como es sabido se equivocó al interpretar la respuesta de M. du Perron[71]. He aquí, en efecto, el doble informe que nos ha dejado el propio Descartes.

En sus *Cogitationes privatae*, Descartes indica brevemente[72]: «Hace pocos días trabé casualmente amistad con un hombre muy ingenioso, quien me planteó la siguiente pregunta:

»Una piedra —dijo— desciende de A a B en un hora; es perpetuamente atraída por la tierra con la misma fuerza, y no pierde nada de la velocidad que le ha sido impresa por la atracción precedente. Ahora bien, lo que se mueve en el vacío, se mueve, *según él*, eternamente. Se pregunta en cuanto tiempo atravesará un espacio dado».

Notemos, lo primero, que Descartes reconoce haber recibido de Beeckman tanto la pregunta como los principios de la solución[73]. Principios que no tienen para él, como para Beeckman, valor de verdad; para Descartes no son sino hipótesis; hipótesis que, por otra parte, no comprende bien. Lo que no le impide resolver el problema planteado e, incluso, darle dos soluciones diferentes. El pobre Beeckman no pedía tanto; sólo quería saber cómo caen las piedras. Descartes no se contenta con eso, y le explica cómo podrían caer[74].

---

cesariamente *dos dimensiones*. Por eso la figura (el triángulo o el rectángulo) representa literalmente la suma de los «momentos» o «grados de velocidad» infinitos. Es lo que no parece haber comprendido Duhem.

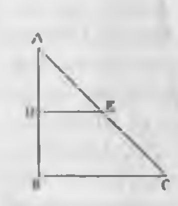
[71] Véase P. Duhem, *Etudes sur L. de Vinci*, vol. III, p. 570, y G. Milhaud, *Descartes savant*, p. 27.

[72] *Cogitationes privatae* (A. T., vol. X, pp. 219 ss.): «Contigit mihi ante paucos dies familiaritate uti ingeniosissimi viri, qui talem mihi quaestionem proposuit: *Lapis*, aiebat, *descendit ab A ad B una hora; attrahitur autem a terra perpetuo eadem vit, nec quid deperdit ab illa celeritate quae illi impressa est priori attractione. Quod enim in vacuo movetur semper moveri* existimabat. Queritur *quo tempore tale spatium percurrat.*»

[73] Es sabido que Descartes negará más tarde haber aprendido jamás nada de Beeckman. Cf. *Carta a Mersenne*, 4 de noviembre de 1630 (A. T., volumen I, pp. 171 ss.), y *Carta a Beeckman* (A. T., vol. I, pp. 157 ss.).

[74] E. Gilson notó ya este rasgo carterístico del espíritu cartesiano: Descartes se ocupa mucho menos de establecer un hecho que de explicarlo. Véase E. Gilson, *Etudes sur le rôle de la pensée médiévale dans la formation du système cartésien*, París, 1930.

He aquí, pues, su respuesta[75]: «Resolví el problema. En el triángulo isósceles rectángulo, ABC representa el espacio (el movimiento); la desigualdad del espacio del punto A a la base BC, la desigualdad del movimiento[76]. Por consiguiente, AD será atravesado en el tiempo representado por ADE; y DB en el tiempo representado por DEBC: donde hay que señalar que el espacio menor representa el movimiento más lento. Pero ADE es la tercera parte de DEBC: por consiguiente, AD será atravesado tres veces más lentamente que DB».



«Pero se podría también plantear este problema de otra forma, a saber: [admitiendo] que la fuerza atractiva de la tierra sea igual a la que fue en el primer momento: y que se produzca una nueva, mientras dura la precedente. En este caso, el problema se resolvería por la pirámide.»

¡Curioso añadido! Se ve claramente hasta qué punto el problema del mecanismo físico de la caída es ajeno al espíritu de Descartes. El que Beeckman lo haya resuelto efectivamente no lo detiene. E imagina otro caso «posible»: el caso en que la *fuerza atractiva* aumentara por instantes; entonces, en el segundo momento, el cuerpo sería *atraído* con una fuerza doble; en el tercero, por una fuerza triple, etc. Claro está que en este caso el cuerpo caería mucho más deprisa[77].

¿Cómo sería posible tal incremento de la «fuerza atractiva»? Descartes no se hace esta pregunta. Pues, en realidad, ve el problema como matemático puro, como geómetra puro y no como físico: se trata de establecer una relación entre dos series de cantidades variables. ¿Por qué no ensayar, mientras se está en eso, una hipótesis divertida?

Descartes es un geómetra, un matemático puro. Al parecer es esa la razón por la que no comprende muy bien los «prin-

---

[75] *Cogitationes privatae*, A. T., vol. x, p. 219: «Solvi quaestionem. In triangulo isoscelo rectangulo, ABC spatium [motum] repraesentat; inaequalitas spatii a puncto A ad basim BC, motus inaequalitatem. Igitur AD percurritur tempore, quod ADE repraesentat; DB vero tempore quod DEBC repraesentat: ubi est notandum minus spatium tardiorem motum repraesentare. Est autem AED tertia pars DEBC: ergo triplo tardius percurret AD quam DB. Aliter autem proponi potest haec quaestio, ita ut semper vis attractiva terrae aequalis sit illi quae primo momento fuit: nova producitur, priori remanente. Tunc quaestio solvetur in pyramide.»

[76] «La desigualdad del movimiento» —*motus inequalitatem*— quiere decir: la variación de la velocidad.

[77] El problema se resolvería por la pirámide —*solvetur in pyramide*—, es decir, las velocidades aumentarían como los cubos y no como los cuadrados.

cipios» de Beeckman y da a su pregunta una respuesta errónea. Ve el problema —y el fenómeno estudiado— de modo distinto a Beeckman.

Como Beeckman, Descartes parte de la caída consumada, pero, a diferencia de Beeckman la ve, en cierto modo, quieta. O, si se prefiere, de la caída sólo observa su trayectoria. O, aún más, instintivamente elimina el tiempo.

La línea ADB —que para Beeckman representaba el tiempo transcurrido—[78] representa para él, naturalmente, la trayectoria recorrida. Y el problema se transforma: una trayectoria es recorrida a una velocidad «uniformemente variable»; el problema es, pues, determinar la velocidad en cada punto del trayecto. Los triángulos ADE y ABC, que para Beeckman representaban el espacio recorrido (el trayecto), para Descartes representan el movimiento del móvil, es decir, la «suma de las velocidades» realizadas. Y, muy plausiblemente, concluye: siendo triple la «suma de las velocidades», el espacio DB será atravesado tres veces más deprisa. El tiempo vuelve a aparecer, pero demasiado tarde; la geometrización a ultranza, la espacialización, la eliminación del tiempo —allí donde no se le puede eliminar—, la omisión del lado físico, causal, del proceso llevan a Descartes —como en otro tiempo a Galileo y, antes que a él, a Benedetti y Michel Varron— a concebir el movimiento uniformemente acelerado como un movimiento cuya velocidad se incrementa proporcionalmente al camino recorrido, y no al tiempo transcurrido.

Ahora bien, si ciertamente nos es lícito dar a nuestras nociones definiciones arbitrarias, también nos es indispensable —ahí está la lección que nos dará Galileo— esforzarnos por captar la esencia de los fenómenos en la naturaleza. Es decir, nos está vedado descuidar las causas y olvidar el tiempo.

Acabamos de decir que Descartes no comprendió bien los «principios» de la física de Beeckman. Se podría ir más lejos y decir que no comprendió el progreso llevado a cabo por su amigo[79].

---

[78] Es curioso señalar que para Beeckman, como para Galileo (véanse *supra*, pp. 94 ss.; *Diálogo*, p. 251; *Discorsi e dimostrazioni*, 3.ª jornada, l. II, prop. 1 y 2), el flujo del tiempo está siempre representado por una vertical y no, como lo hacemos habitualmente, por una horizontal.

[79] Este progreso decisivo consiste: *a)* En la afirmación *neta* de la ley de la conservación *del movimiento*, que de este modo es liberado de la concepción del *impetus*; *b)* en la eliminación de toda *causa* interior al móvil. Por primera vez en la historia de la física, un efecto variable podrá ser explicado por la acción sucesiva, o prolongada, de una fuerza constante.

Es verdad que el propio Beeckman tampoco lo comprende muy bien. El texto de los *Physico-mathematica*, al confirmar nuestro análisis de las fuentes del error cartesiano, parece demostrar plenamente esa incomprensión. Por eso lo citaremos completo[80]:

«En el problema propuesto, en el que imaginamos que, a cada instante[81], una fuerza se añade [a aquélla] con la cual el cuerpo grave tiende hacia abajo, digo que esa fuerza aumenta de la misma manera en que aumentan las líneas trasversales *de, fg, hi,* y otras infinitas trasversales que podemos imaginar entre ellas. Si lo demostrara, admitiré como primer mínimo o punto de movimiento[82] causado por la primera fuerza atractiva de la tierra que podemos imaginar el cuadrado *alde*. Para el se-

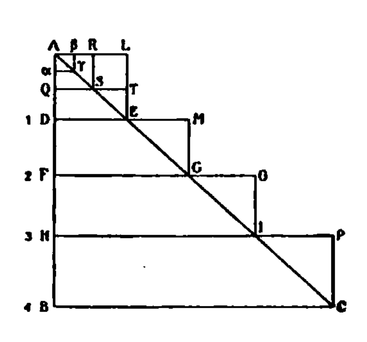
---

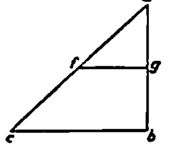
[80] Descartes y Beeckman, *Physico-mathematica* (*Oeuvres*, ed. A. T., volumen X, pp. 75 ss.: «In proposita quaestione, ubi imaginatur singulis temporibus novam addi vim qua corpus grave tendat deorsum, dico vim illam eodem pacto augeri, quo augentur lineae transversae *de, fg, hi,* et aliae infinitae transversae quae inter illas possunt imaginari. Quod ut demonstrem, assumam pro primo minimo vel puncto motus, quod causatur a primo quae imaginari potest attractiva vi terrae, quadratum *alde*. Pro secundo minimo motus, habebimus duplum, nempe *dmgf:* pergit enim ea vis quae erat in primo minimo, et alia nova accedit illi aequalis. Item in tertio minimo motus, erunt 3 vires; nempe primi, secundi et tertii minimi temporis, etc. Hic autem numerus est triangularis, ut alias forte fusius explicabo, et apparet hunc figuram triangularem *abc* repraesentare. Immo, inquies, sunt partes protuberantes *ale, emg, goi,* etc. quae extra trianguli figuram exeunt. Ergo figura triangulari illa progressio non debet explicari. Sed respondeo illas partes protuberantes oriri ex eo quod latitudinem dederimus minimis, quae indivisibilia debent imaginari et nullis partibus constantia. Quod ita demonstratur. Dividam illud minimum *ad* in duo aequalia in *q;* iamque *arsq* est [primum] minimum motus, et *qted* secundum minimum motus, in quo erunt duo minima virium. Eodem pacto dividamus df, fh, etc. Tunc habebimus partes protuberantes *ars, ste,* etc. Minores sunt parte protuberante *ale*, ut patet. Rursum, si pro minimo assumam minorem, ut *aα*, partes protuberantes erunt adhuc minores, ut *aβγ*, etc. Quod si denique pro illo minimo assumam verum minimum, nempe punctum, tum illae partes protuberantes nullae erunt, quia non possunt esse totum punctum, ut patet, sed tantum media pars minimi *alde*, atqui puncti media pars nulla est. Ex quibus patet, si imaginetur, verbi gratia lapis ex *a* ad *b* trahi a terra in vacuo per vim quae aequaliter ab illa semper fluat, priori remanente, motum primum in *a* se habere ad ultimum qui est in *b*, ut punctum *a* se habet ad lineam *bc*. Mediam vero partem *gb* triplo celerius pertransiri a lapide, quam alia media pars *ag*, quia triplo majori vi a terra trahitur: spatium enim *fgbc* triplum est spatii *afg*, ut facile probatur. Et sic proportione dicendum de caeteris partibus.»

[81] Notemos este «a cada instante» —*singulis temporibus*—; desde el momento en que Descartes piensa en «fuerza», piensa también en «tiempo».

[82] Mínimo o punto de movimiento —*minimum vel punctum motus*— es exactamente lo mismo que Descartes llama «momento» y que Galileo y sus predecesores llaman «grado de velocidad».

gundo mínimo de movimiento, tendremos el doble, o sea, *dmgf;* en efecto, la primera fuerza que estaba en el primer mínimo, dura aún, y otra nueva se añade a ella, igual a la precedente. Asimismo, en el tercer mínimo de movimiento habrá tres fuerzas, a saber, las del primero, segundo y tercer mínimo de tiempo, etc. Ahora bien, este número es triangular —como quizá en otra parte lo explique más detenidamente— y representa la figura *abc.* Sin embargo, dirás que hay partes sobresalientes, *ale, emg, goi,* etc., que salen de la figura del triángulo. Por consiguiente, la figura del triángulo no podrá expresar la progresión en cuestión. Pues bien, respondo que esas partes sobresalientes provienen de que hemos dado una extensión a estos *mínimos* a los que es preciso imaginar como indivisibles y no compuestos de parte alguna. Lo que se demuestra de la siguiente manera. Divido el mínimo *ad* en dos partes iguales por *q;* entonces *arsq* será el (primer) mínimo de movimiento, y *qted* el segundo mínimo de movimiento, en el cual habrá dos mínimos de fuerzas. De la misma manera dividiremos *df, fh,* etc. Entonces, tendremos las partes sobresalientes *ars, ste,* etc., que, como es evidente, son más pequeñas que la parte sobresaliente *ale.* Vayamos más lejos. Si para un mínimo admito un mínimo menor, tal como *aα,* las partes sobresalientes serán todavía más pequeñas, tales como αβγ, etc. Si, por último, para ese mínimo tomo el mínimo verdadero, es decir, el punto, entonces estas partes sobresalientes serán nulas, pues no podrán ser el punto completo, sino sólo una mitad del mínimo *aldc,* como es evidente, y la mitad de un punto es nula.





»De donde resulta claro que si imagináramos, por ejemplo, una piedra que, en el vacío, fuera atraída por la tierra de *a* a *b* por una fuerza que emanara de ella eternamente de manera igual, mientras durara la precedente, el movimiento primero en *a* sería al último en *b* como el punto *a* es a la línea *bc.* En cuanto a la mitad *gb,* sería atravesada por la piedra tres veces más deprisa que la otra mitad *ag,* ya que sería atraída por la tierra con una fuerza tres veces mayor. Ciertamente,

y como es fácil probarlo, el espacio *fgbc* es el triple del espacio *afg*, Y de este modo, proporcionalmente, lo diremos de las otras partes.»

Es difícil imaginar un texto que como éste una a la suprema elegancia matemática[83] la más irremediable confusión física. Decididamente, Descartes no comprendió los «principios» de Beeckman; por ello simplemente no presta atención a la conquista intelectual de éste, el principio de la conservación del *movimiento*, y lo reemplaza por el de la fuerza. Parte de la idea de que la *velocidad* es proporcional a la *fuerza*[84]; y concluye que una fuerza constante produce una velocidad constante. Cae de nuevo, pues, en la concepción clásica de la física del *impetus*. Se imagina que si el cuerpo que cae acelera su movimiento es porque es atraído con más fuerza por la tierra al final de su movimiento que al principio, o utilizando su lenguaje, porque la fuerza atractiva de la tierra produce en la piedra una creciente fuerza motriz; por eso suma (el pasaje que citamos corresponde a la primera hipótesis estudiada en el texto de las *Cogitationes privatae*, antes citado) las fuerzas que actúan, y no simplemente las velocidades[85].

---

[83] P. Duhem (*op. cit.*, p. 576) escribe a este respecto: «Lo que Beeckman había dicho... [habría, claro está, que decir: Descartes] era de una exactitud y de un alcance que no tenían los razonamientos del mecánico de Pisa.» Los razonamientos del «mecánico de Pisa» no eran tan malos como dice Duhem; como se ha visto, y como se verá más adelante, consistían en la utilización de la geometría de los indivisibles de Cavalieri. En cuanto al razonamiento cartesiano, lo encontramos de nuevo, con pocas variantes, en Gradi (véase Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bolonia, 1895, pp. 306 ss.).

[84] Idea totalmente correcta si, como Descartes, se elimina el tiempo y se supone que la *acción* de la fuerza es intemporal o instantánea; entonces, como dirá Newton (*Philosophiae naturalis principia mathematica*, Londini, 1687, Axiomate sive leges, Lex II, p. 12) está fuera de duda que «*si vis aliqua motum quamvis generat, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul et semel, sive gradatim et succesive impressa fuerit*». Sobre el instanteísmo de Descartes, véase el interesante trabajo de Jean Wahl, *Le rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, París, 1920.

[85] Ya hemos dicho que el mismo Beeckman está lejos de comprenderse, de comprender lo que implica su «principio». Lo que está totalmente confirmado por los textos publicados por Cornélis de Waard. En cierto modo Beeckman se comprende tan poco que niega la continuidad de la aceleración en la caída, y adopta la teoría del movimiento no ininterrumpido (véase *Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, pp. 291 ss.). Por otra parte admite, como Aristóteles, que el cuerpo lanzado al aire se detiene antes de desandar lo andado. Por paradójico que parezca, se ve que la nueva noción del movimiento está lejos de estar clara para él, y será Descartes quien la ponga en claro y capte todas sus implicaciones. Pero no lo logrará sino diez o quince años más tarde, en la época de las

Da la impresión de que Descartes acepta —hipotéticamente— el principio de Beeckman, el principio de la conservación del movimiento, al propio tiempo que desconfía del mismo. Da la impresión de que, al tratar de resolver el problema de la caída, prefiere prescindir de las nociones elaboradas por Beeckman, nociones visiblemente demasiado nuevas aún para él, demasiado insólitas, demasiado difíciles. En efecto, la noción que Beeckman —implícitamente— pone en juego (la noción del movimiento de la física clásica) se sitúa, en cierto modo, en la estrecha frontera entre lo matemático (lo geométrico) y lo físico (lo temporal). Es muy difícil de lograr, y lo difícil que le resulta a un Descartes comprenderla, mantenerse en ese límite exacto entre lo físico y el espacio puro sería —si no hubiera otras— prueba suficiente de esta dificultad. Esa es la razón por la cual Descartes la evita; el movimiento —ente paradójico que es un estado del móvil y que, no obstante, pasa de un móvil a otro; que encarna el cambio y que, al propio tiempo, se mantiene idéntico a sí mismo— le parece un ente bastardo; y tanto voluntaria como instintivamente reemplaza esta noción por aquéllas, más tangibles —y más claras, más fácilmente *imaginables*—[86], de fuerza motriz, por una parte, y trayectoria, por otra.

Sin embargo, obtiene brillantes resultados en su deducción matemática. Se comprende fácilmente: en realidad, no existe formalmente ninguna diferencia entre el problema de Beeckman y el que Descartes plantea en su lugar. Poco importa que se trate de fuerzas, de espacios, de velocidades; se trata siempre de una sola cosa, a saber, de calcular el ritmo de variación de una magnitud que se incrementa uniformemente con relación al *tiempo*. Y cuando piensa en la fuerza atractiva, Descartes piensa necesariamente en una variación, o en una producción, en el tiempo. Mas cuando intenta traducir en términos de espacio los resultados de su integración, llevado por el impulso de la representación imaginativa y de su tendencia a la geometrización a ultranza, cae en el error que, cosa curiosa, incluso con su física de la fuerza podía, en principio, evitar[87]. Y si cae en ese error es porque, al sustituir el movimiento por la trayectoria,

---

Regulae y del *Monde*, cuando se decida a no ver en el movimiento más de lo que en él ven los matemáticos.

[86] La física de Descartes es —¡ay!— una física *imaginativa*, y, muy frecuentemente, en física una concepción clara no es para él más que una concepción claramente imaginada. Cf. L. Brunschvicg, «Métaphysique et mathématique chez Descartes», en *R.M.N.*, 1927, e *infra*, pp. 137 ss.

[87] Sólo necesitaba mantener estrictamente el paralelismo entre fuerza y velocidad y continuar pensando causalmente, es decir, en función del tiempo.

hace de la trayectoria —y no del tiempo— el argumento de su función.

La traducción —reinterpretación— cartesiana de las ideas de Beeckman nos parece tan curiosa y, al mismo tiempo, tan reveladora de las profundas tendencias de la mente humana, de las dificultades que ha tenido que vencer para llegar a esta noción del movimiento que, diez años más tarde, Descartes declarará sencilla y clara hasta el punto de no exigir ni admitir definición, que sentiríamos no aclararla por otro texto más. Esperamos que el lector no sienta que lo hagamos.

«Este problema —continúa Descartes—[88] puede también resolverse de otra manera, más difícil. Imagínese que la piedra permanece en el punto *a*, estando vacío el espacio entre *a* y *b*. Y que por primera vez, hoy a las nueve, por ejemplo, Dios crea en *b* una fuerza atractiva que actúa sobre la piedra; y que en los siguientes instantes crea fuerzas de atracción continuamente nuevas, iguales a la que creó en el primer instante, las cuales, unidas a las fuerzas anteriormente creadas, atraen a la piedra cada vez con más fuerza, y tanto más cuanto que, en el vacío, lo que una vez es movido se mueve eternamente; y admitamos que la piedra que estaba en *a* llega a *b* a las diez. Si se pregunta en cuánto tiempo recorrerá la primera mitad del camino, es decir *ag* y en cuánto el que queda, respondo que la piedra desciende por la línea[89] *ag* en 1/8 de hora y por la línea *gb* en 7/8 de hora. Entonces, en efecto, hay que hacer una pirámide sobre la base triangular cuya altura sea *ab* y que esté dividida de cualquier manera, junto con la pirámide entera, por líneas transversales equidistantes del horizonte. La piedra recorrerá las partes inferiores de la línea *ab* tanto más deprisa cuanto ma-

[88] Descartes y Beeckman, *Physico-mathematica* (*Œuvres*, ed. A. T., volumen x, p. 77: «Aliter vero potest haec quaestio proponi difficilius, hoc pacto. Imaginetur lapis in puncto *a* manere, spatium inter *a* et *b* vacuum; iamque primum, verbi gratia, hodie hora nona Deus creet in *b* vim attractivam lapidis; et singulis postea momentis novam et novam vim creet, quae aequalis sit illi quam primo momento creavit; quae iuncta cum vi ante creata fortius lapidem trahat et fortius iterum, quia in vacuo quod semel motum est semper movetur; tandemque lapis, qui erat in *a*, perveniat ad *b* hora decima. Si petatur quanto tempore primam mediam partem spatii confecerit, nempe *ag*, et quanto reliquam: respondeo lapidem descendisse per lineam *ag* tempore 1/8 horae; per spatium *gb*, 7/8 horae [error evidente: invertir las cifras]. Tunc enim debet fieri pyramis supra basim triangularem, cuius altitudo sit *ab*, quae quocunque pacto dividatur una cum tota pyramide per lineas transversas aeque distantes ab horizonte. Tanto celerius lapis inferiores partes lineae *ab* percurret, quanto majoribus insunt totius pyramidis sectionibus.»

[89] La línea, como siempre en Descartes, representa la trayectoria.

yores sean las secciones de la pirámide entera en las que participen»[90].

Tiene razón Descartes al considerar «más difícil» esa manera de enfocar el problema. Pues esta vez adopta el principio beeckmaniano de la conservación del movimiento. Pero a este principio sobreañade —y es comprensible que invoque la ayuda divina— un constante incremento de la fuerza atractiva. ¡Cosa curiosa! De todos los casos posibles que Descartes examina, hay sólo uno que no estudia: precisamente el que Beeckman le había propuesto.

¿Cómo es que Beeckman no se dio cuenta del error cometido por Descartes y no reivindicó para sí la gloria de la solución exacta? No hay duda de que jamás se podrá explicar cabalmente tal cosa. Hay que admitir el hecho: Beeckman, que persigue la solución de un problema *físico,* que plantea a Descartes una determinada pregunta —pregunta matemática—, aplica naturalmente la respuesta recibida al problema planteado. Y allí donde Descartes habla de espacio, Beeckman entiende tiempo[91]. Más exactamente: allí donde Descartes se desliza del tiempo al espacio, Beeckman evita el deslizamiento. Por eso, cometiendo con respecto a Descartes —pero en sentido inverso— el error que éste comete con respecto a sí mismo, llega a restablecer, en cierto modo, la situación. Tal es, a grandes rasgos, la explicación de G. Milhaud[92]. Y tenemos que reconocer que no vemos ninguna otra. Hay que admitir el hecho: Beeckman no advierte que la solución de Descartes difiere de la que él le atribuye. No advierte que los principios físicos de esta solución no son los suyos. Y atribuye a Descartes la solución que transcribe.

¿No será éste un indicio de que, para Beeckman, el problema es sobre todo matemático, y que en su solución —la realización de la integración— ve el mérito de su joven amigo?

Nos parece que todavía se podría ir más lejos. Si Beeckman no ve la diferencia entre su solución (velocidad proporcional al tiempo transcurrido) y la de Descartes (velocidad proporcional al espacio recorrido), es porque, para él, no existe; es porque cree equivalentes ambas soluciones[93].

Sin duda que esto parecerá a nuestros lectores muy poco ve-

---

[90] Es decir, proporcionalmente a la tercera potencia. Estamos en la segunda hipótesis de las *Cogitationes privatae.*

[91] Cf. P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci,* III, p. 570.

[92] Véase G. Milhaud, *op. cit.,* pp. 28 ss.

[93] De alguna forma tendríamos aquí la repetición de la situación ejemplificada antes por L. de Vinci y Benedetti.

rosímil. No obstante... No olvidemos que Beeckman, indudablemente buen físico, es un matemático muy mediocre: ahora bien, vemos que el propio Descartes, matemático genial donde los haya, no supo jamás reconocer el error en que había incurrido, ni tampoco, al encontrar en Galileo la fórmula exacta [94], reconocer que difería de la que él había propuesto en otro tiempo. Por lo que, una vez más, puede verse lo difíciles de encontrar y comprender que son las ideas sencillas y claras a las que la física clásica y la filosofía cartesiana nos han acostumbrado. Incluso para un Galileo; incluso para un Descartes.

Diez años después de su encuentro con Beeckman, Descartes tuvo, una vez más, ocasión de ocuparse del problema de la caída de los cuerpos. Esta vez fue su amigo Mersenne quien le planteó la pregunta. Y la respuesta de Descartes difiere totalmente de la que le dio a Beeckman [95]. Salvo en un punto: como

---

[94] Véase *Carta a Mersenne,* del 14 de agosto de 1634 (A. T., vol. I, página 303; A. M. I., v, p. 265), donde Descartes dice haber hojeado el *Diálogo* de Galileo que Beeckman le había prestado de sábado a lunes: «El señor Beeckman vino aquí el sábado por la tarde y me prestó el libro de Galileo; pero se lo ha llevado a Dort esta mañana, de modo que no lo he tenido en mis manos más que treinta horas. No dejé de hojearlo por entero, y encuentro que filosofa bastante bien acerca del movimiento, aunque son muy pocas las cosas que dice de él que encuentro totalmente ciertas; pero, por lo que pude observar, falla más en donde sigue las opiniones recibidas que en donde se aleja de ellas. Exceptuado, no obstante, lo que dice del flujo y del reflujo, que lo encuentro un poco traído por los pelos. También yo en mi *Monde* lo había explicado por el movimiento de la tierra, pero en forma muy diferente a la suya.»

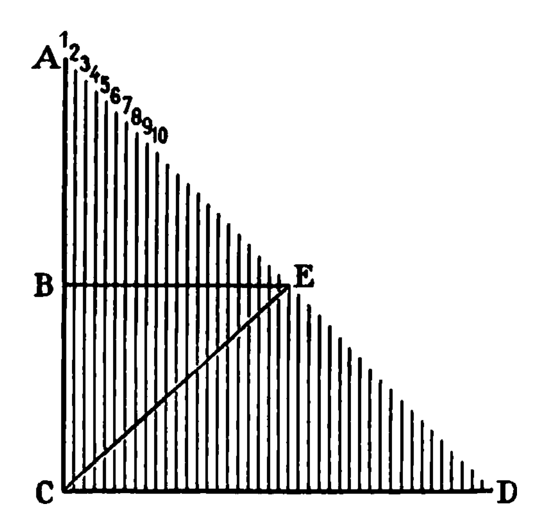
«Sin embargo, quiero confesar que encontré en su libro algunos de mis pensamientos, como, entre otros, dos que creo haberos escrito anteriormente. El primero es que los espacios por donde pasan los cuerpos pesados cuando descienden son los unos a los otros como los cuadrados de los tiempos que emplean en descender, es decir, que si una bala emplea tres momentos en descender desde A hasta B, no empleará más que uno en continuarlo desde B hasta C, etc., lo que yo decía con muchas restricciones, pues, en efecto, nunca es enteramente cierto, como cree demostrar.» Es curiosa la restricción de Descartes, que, por otra parte, se comprende perfectamente en su física; la solución de Galileo presupone el vacío y la atracción; ahora bien, en adelante Descartes no admite ni el uno ni la otra. Pero no es eso lo que aquí nos interesa: es el hecho de que Descartes crea haber encontrado en Galileo su propia solución del problema, que es muy diferente. Sobre esta diferencia, véase el artículo de P. Tannery, citado *supra*, p. 97, n. 50.



[95] Es curioso observar que P. Duhem las cree idénticas (véase Duhem, *op. cit.*, p. 569). Por otra parte, para comprender el razonamiento de Descartes, Duhem se ve obligado a dar la vuelta al dibujo que lo acompaña (p. 566).

hace diez años, Descartes da a su amigo una fórmula falsa; la misma fórmula que antes, fórmula donde la velocidad del móvil está en función del espacio recorrido, y no del tiempo transcurrido.

«Primeramente —escribe Descartes—[96], supongo que una vez que el movimiento es impreso en algún cuerpo dura en él perpetuamente si no es suprimido por alguna otra causa; es



decir que lo que, en el vacío, ha comenzado una vez a moverse, se mueve por siempre y a la misma velocidad[97]. Supongamos, entonces, un peso, que existe en A, empujado por su gravedad hacia C. Digo que si, una vez que ha comenzado a moverse, su

[96] *Carta a Marsenne*, de 13 de noviembre de 1629, A. T., vol. I, p. 71; ed. Adam-Milhaud, vol. I, pp. 85 ss.

[97] Observemos esta precisión; Beeckman sólo había dicho: se mueve eternamente de la misma manera; Descartes, precisa: a la misma velocidad. Beeckman, sin duda, no lo comprendía de otro modo; para él, esto era evidente. Pero hacía falta decirlo, pues un cuerpo podría muy bien moverse eternamente sin conservar su velocidad, e incluso moverse «de la misma manera», por ejemplo, acelerándose, o al contrario, retardándose continuamente. La ley de la conservación del movimiento implica sin duda la conservación de la velocidad, pero es necesario explicitarlo. A Descartes le bastará con añadir la de la dirección, para formular la ley de la inercia. Añadidura suficiente, pero también absolutamente indispensable. Por eso, en contra de lo que piensan Duhem (*De l'accélération*, etc., p. 904) y De Waard (*Correspondance*, vol. II, pp. 236, 237), ni Descartes ni Beeckman formularon el principio de inercia *en ninguno de los textos que hemos citado.*

gravedad lo abandona, no dejará de perseverar en el mismo movimiento hasta que llegue a C. Pero entonces no descenderá ni más ni menos rápidamente de A a B que de B a C; como esto no es así, sino que conserva su gravedad que lo empuja hacia abajo y que, a cada momento, añade nuevas fuerzas para el descenso, resulta que atraviesa el espacio BC mucho más rápidamente que el AB, pues al recorrerlo retiene todo el *impetus* por el que era movido a través del espacio AB, y, además, a él se añade uno nuevo debido a la gravedad que, de nuevo también, lo empuja a cada nuevo instante. En cuanto a la proporción con que esta velocidad aumenta, se demuestra por el triángulo ABCDE; la primera línea, en efecto, denota la fuerza de velocidad impresa en el primer momento; la segunda, la fuerza impresa en el segundo momento; la tercera, la fuerza conferida en el tercer momento, y así sucesivamente. De esta manera se forma el triángulo ACD que representa el incremento de velocidad del peso en su descenso de A a C, y ABE, que representa el incremento de velocidad en la primera mitad del espacio que recorre este peso; y el trapecio BCDE que representa el aumento de la velocidad en la segunda mitad del espacio que recorre el peso, a saber, BC. Y como el trapecio BCDE es tres veces mayor que el triángulo ABE, como está claro, se desprende que el peso descenderá tres veces más deprisa de B a C que de A a B; es decir, si desciende de A a B en tres momentos, descenderá de B a C en un solo momento. O sea que en cuatro momentos recorrerá dos veces más camino que en tres y, por consiguiente, en 12 momentos dos veces más que en 9 y en 16 momentos cuatro veces más que en 9, y así sucesivamente» [illegible].

Acabamos de decir que la solución al problema de la caída de los cuerpos que Descartes envía a Mersenne es muy diferente de las que concibió bajo la influencia de Beeckman. En efecto, la noción de atracción, tan felizmente utilizada por éste, ha des-

---

[illegible] Tal como se lo imagina Descartes, el movimiento de la caída resulta más rápido de lo que lo es en realidad. Efectivamente, el camino recorrido en tres y cuatro «momentos» es como 3^2 y 4^2, es decir, como nueve y dieciséis. Por consiguiente, no es «dos veces» mayor durante el cuarto «momento». Si Descartes se hubiera acordado de este cálculo cinco años más tarde, cuando repasaba el *Diálogo*, no habría podido creer en la identidad entre su solución y la de Galileo. En efecto, mientras que en Galileo los caminos recorridos en los tiempos sucesivos son *sicut numeri impares ab unitate*, en Descartes no lo son. Pero en la época en que lee a Galileo, Descartes había perdido toda esperanza de poder dar una solución numérica exacta al problema de la caída real. Y el caso abstracto, estudiado por Galileo (y, en otro tiempo, por él mismo), de la caída en el vacío ya no le interesa: la concepción del vacío es absurda, y una física de ideas claras no puede hacer ningún uso de ella.

aparecido por completo; Descartes, en realidad, vuelve a la concepción del *impetus,* y su interpretación de la caída difiere muy poco de las de Benedetti o Scaligero[99]: la gravedad, cualidad esencial del cuerpo que a cada instante engendra un nuevo *impetus* empuja al cuerpo hacia abajo: la aceleración (transposición en términos de *impetus* de la concepción forjada en términos de atracción)[100] proviene del hecho de que estos *impetus* son engendrados sucesivamente a cada nuevo instante; en efecto, cada *impetus* produce un movimiento *de una velocidad constante;* así pues, sólo por la suma de *impetus* nuevos puede explicarse la aceleración. En verdad, el principio de Beeckman —conservación del movimiento— es ahora formulado sin restricciones (y sin mencionar a Beeckman), pero, cosa sumamente curiosa, es transferido a la conservación del *impetus.*

La deducción de la fórmula del movimiento de la caída, movimiento uniformemente acelerado, difiere igualmente de las deducciones precedentes. Salvo, como ya hemos dicho, en la identidad de la fórmula final. Lo mismo que anteriormente, Descartes se desliza del tiempo al espacio, de lo físico a lo geométrico.

En efecto, mientras piensa en el mecanismo real —físico— de la aceleración, Descartes ve cómo surgen y se engendran los *impetus* uno tras otro en los momentos sucesivos del tiempo. En cambio cuando pasa al estudio matemático del *movimiento,* sustituye de inmediato al tiempo por el espacio, el tiempo transcurrido por el espacio atravesado.

En realidad, la figura que le sirve de base para su deducción no es muy clara. Difiere de las figuras de otros tiempos, excepto en un punto: la línea AC, que va de *arriba abajo,* representa la trayectoria de la caída. Como en otros tiempos, el pensamiento de Descartes sucumbe a la tentación de la imaginación geométrica. Su razonamiento parece ser el siguiente: en el primer instante de la caída, el primer *impetus* produce un movimiento que —por sí solo— transportaría el cuerpo hacia C a una velocidad determinada. Este *impetus* actúa en toda la extensión del recorrido: por ello es representado por la línea AC,

---

[99] Véanse *supra,* pp. 83 ss.

[100] La gravedad engendra, sucesivamente, fuerzas instantáneas, *impetus* que mueven el cuerpo y se conservan en el transcurso del movimiento. Aquí —como en Cardano y como algunas veces en el propio Galileo—, el *impetus* se identifica, de hecho, con el movimiento y la velocidad. Herencia de una concepción antigua dentro de una física nueva. En cuanto al abandono de la noción de atracción, es algo muy característico del pensamiento cartesiano; visiblemente, Descartes prefiere a esta oscura noción (acción a distancia) la de la gravedad.

que simboliza la trayectoria entera. El segundo *impetus* produce un movimiento de una velocidad (absoluta) igual a la producida por el primero. Pero no interviene desde el principio del movimiento; atrapa, por así decir, al cuerpo a alguna distancia del punto A; el tercero no interviene sino aún más lejos [101], y así sucesivamente. Por ello, el conjunto de los *impetus* está representado por el conjunto de los tramos del trayecto —camino recorrido— a lo largo de los cuales actúan.

Descartes ha olvidado —valga la expresión— que los *impetus* intervienen *sucesivamente*, o, si se quiere, ve esta sucesión desplegada en el espacio a lo largo de la trayectoria del recorrido [102]. Al no haber podido —ni siquiera en 1629— captar plenamente la nueva noción del movimiento que el principio de su conservación pone en juego, Descartes sigue disociando la concepción causal y el análisis matemático, la evolución temporal y la representación geométrica de la caída.

Mersenne —no se lo tengamos en cuenta— no había comprendido muy bien la explicación de Descartes. Así pues, éste vuelve a la carga [103]: «En vuestra última carta —escribe a Mersenne— me preguntáis por qué digo que la velocidad es impresa [al cuerpo] por la gravedad como *uno* en el primer momento de la caída, y como dos en el segundo momento, etc. Respondo, sin con esto querer ofenderos, que no lo entiendo de esa forma, sino que la velocidad se imprime por la gravedad como *uno* en el primer momento, y de nuevo como *uno* en el segundo momento por la misma gravedad, etc. Ahora bien, *uno* en el primer momento, y *uno* en el segundo, son *dos,* y *uno* en el tercero son *tres,* y de este modo [la velocidad] crece en proporción aritmética. Ahora bien, creía haberlo probado suficientemente partiendo de que la gravedad acompaña eternamente al cuerpo en el que está; y no puede acompañar al cuerpo sino es empujándolo constantemente hacia abajo. Por ello, si supusiéramos, por ejemplo, que una masa de plomo cae hacia abajo en virtud de la fuerza de la gravedad, y que, desde el primer momento después del comienzo de la caída, Dios retira del plomo toda gravedad —de manera que luego de esto la masa de plomo no sea más pesada que si fuera de aire o de plumas—, esta masa no dejaría de descender, sobre todo en el vacío, como ha comen-

---

[101] Por supuesto, esas distancias son infinitamente pequeñas.

[102] Lo que, en cierto sentido, es totalmente cierto: en efecto, la aceleración se produce en cada punto del recorrido.

[103] *Carta a Mersenne,* 18 de diciembre de 1629, A. T., vol. I, p. 89, ed. Adam-Milhaud, vol. I, pp. 97 ss., en latín en el texto.

zado a descender; y no se puede dar ninguna razón por la que su velocidad habría de disminuir más bien que aumentar. Bien, pues si, pasado un tiempo, Dios restituyera su gravedad al plomo, y esto por un solo instante, transcurrido el cual la retirara de nuevo, ¿es que en este segundo momento la fuerza de gravedad no empujaría al plomo tanto como lo hizo en el primer momento? Y eso puede decirse de los otros momentos. De donde ciertamente se desprende que si dejárais caer una bola *in spatio plane vacuo* desde 50 pies de altura, sin importar de qué material pueda estar hecha, empleará siempre exactamente tres veces más de tiempo en los 25 primeros pies que en los 25 últimos. Pero dentro del aire, es otra cosa totalmente distinta...». A decir verdad, esta nueva explicación de Descartes no añade nada nuevo a lo que ya le decía a Mersenne en su carta precedente. Notemos, una vez más, cómo se aproxima de nuevo la concepción cartesiana a la de los teóricos del *impetus:* ¡La gravedad, causa adjunta al móvil que lo empuja hacia abajo! Es puro Benedetti [104]. Notemos además que, al margen, añade Descartes: «Hay que recordar que hemos admitido que un cuerpo, una vez movido, se moverá en el vacío eternamente, y voy a demostrarlo en mi trabajo»; notemos, por último, que en esa misma carta, hablando de Beeckman, dice Descartes: «Admite, *como yo* [el subrayado es nuestro] que lo que una vez ha comenzado a moverse continuará moviéndose por su propia fuerza *(sua sponte)*, a menos que sea detenido por una fuerza exterior, y por consiguiente en el vacío se moverá eternamente...»..

En los años siguientes, tendrá Descartes bastantes ocasiones aún de volver sobre el problema de la caída. Sin embargo, nunca más tratará de dar su fórmula, ni intentará nunca más establecer su ley. Es que, hacia 1630, el pensamiento de Descartes experimenta una evolución muy profunda. Tan profunda y tan radical que se la podría llamar revolución. La reflexión metódica, la meditación acerca del pensamiento humano y sus relaciones con la realidad, preocupación de la que las *Regulae ad directionem ingenii* son expresión sublime, comienzan a dar sus frutos. Por ello, para reconstruir la física —y el mundo físico— Descartes va a proceder en adelante «según el orden de las razones» y no según el de las materias.

No es preciso que insistamos en la decisiva importancia de esta revolución intelectual [105]. Nos bastará con señalar que esta

[104] Véanse *supra*, pp. 45 ss.
[105] Véanse las conocidas obras de L. Brunschvicg, *La causalité physique*

inversión de los órdenes le permite a Descartes captar, y presentarnos, con una claridad insuperable, el nuevo concepto del movimiento, fundamento de la ciencia nueva; determinar su estructura y su naturaleza ontológica; expresar, con perfecta nitidez, todo lo que sólo estaba oscuramente presentido e implícitamente contenido en el pensamiento de un Beeckman y de un Galileo —todo lo que hemos debido «explicitar» en el transcurso de nuestro estudio—; en fin, formular el principio de inercia. Conquistas que sitúan a Descartes-científico en el mismo rango que a Descartes-filósofo; es decir, en el más elevado.

Pero, cosa curiosa, esta misma revolución intelectual le hace perder a Descartes todas las adquisiciones concretas de la «ciencia nueva», de esta físico-matemática que se elaboraba ante sus propios ojos, y a cuya creación había ayudado él tan poderosamente.

El hecho es bien sabido. La física de Descartes, tal como nos la presentan los *Principes*, no contiene ya leyes expresables matemáticamente [106]. De hecho es tan poco matemática como la de Aristóteles. Y en cuanto al problema de la caída de los graves, los *Principes* lo pasan por alto.

¿Es una casualidad? ¿Es una necesidad? La cuestión nos parece importante.

La decisión de proceder sólo de lo claro a lo claro, avanzando en orden y comenzando por el principio, es decir, «por las ideas más sencillas y más fáciles», implica, como es sabido, la total matematización de la naturaleza, lo que en la práctica significa su geometrización [107]; también implica la necesidad de un desarrollo sistemático y de una construcción, o reconstrucción, a partir de ideas sencillas y claras, de todas las nociones implicadas y empleadas en la física; finalmente, implica el abandono definitivo de todas las ideas «oscuras» de las que la física —incluso la física matemática— hace un uso lo suficientemente abundante.

Las cartas a Mersenne expresan con perfecta claridad las nuevas convicciones de Descartes. «Es imposible decir nada bueno y sólido acerca de la velocidad sin haber explicado en realidad lo que es la pesantez y, al mismo tiempo, todo el sistema del mundo», le escribe Descartes el 12 de septiembre

---

de l'expérience humaine, París, 1925, y *Le progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, París, 1927.

[106] Véase E. Bréhier, *Historie de la philosophie*, t. II, París, 1928, páginas 93 ss. (*Historia de la filosofía*, Buenos Aires. Editorial Sudamericana, 1944).

[107] Véase E. Meyerson, *Identité et réalité*, 3.ª edic., París, 1926, pp. 282 ss.; *La déduction relativiste*, París, 1925, pp. 135 ss.

de 1638[108]. Y en su famosa crítica a Galileo, donde Descartes —de mala gana— reconoce que Galileo «filosofa mucho mejor que el vulgo»[109], lo que ante todo le reprocha Descartes es el haber procedido «sin orden» y el no haber llevado hasta el fin el análisis de las nociones empleadas[110]; por consiguiente, el conservar y emplear sin modificación nociones —como las de la pesantez y el vacío— que proclaman, por así decirlo, su procedencia sensible, en lugar de tratar de reconstruirlas a partir de las ideas sencillas y claras, de las ideas puramente intelectuales de la extensión y del movimiento.

Ya en el otoño de 1631, Descartes, en efecto, escribía a Mersenne: «No me desdigo de ningún modo de lo que dije acerca de la velocidad de los pesos que descienden en el vacío: pues suponiendo el vacío tal y como todo el mundo lo imagina, el resto es demostrable; pero creo que no podría suponerse el vacío sin caer en el error. En los dos capítulos que he prometido enviaros a final de este año trataré de explicar *quid sit gravitas, levitas, durities*, etc., razón por la que me abstengo de escribiros sobre ello ahora»[111]. Hay que explicar *quid sit gra-*

[108] *Carta a Mersenne*, 12 de septiembre de 1638, A. T., vol. II, p. 355.

[109] *Carta a Mersenne*, 11 de octubre de 1638, Descartes, *Oeuvres*, ed. A. T., vol. II, p. 380: «Encuentro que, en general, filosofa mucho mejor que el vulgo, por cuanto omite lo más que puede los errores de la Escuela, y trata de examinar las materias físicas mediante razones matemáticas. En esto coincido enteramente con él, y sostengo que no existe otro medio para llegar a la verdad. Pero me parece que falla mucho por cuanto hace de continuo digresiones y no se detiene a explicar cabalmente una materia; lo que demuestra que no las ha examinado por orden, y que, sin haber considerado las primeras causas de la naturaleza, sólo ha buscado las razones de algunos efectos particulares, y, de este modo, ha obrado sin fundamento.»

[110] Desde cierto punto de vista, la crítica que hace Descartes de la ciencia galileana es, en principio, si no de hecho, correcta. En efecto, Descartes reprocha a Galileo el hacer una física matemática *contraria al sentido común y a la experiencia cotidiana*, sin tener derecho a ello, es decir, sin apoyarla en una metafísica (cf. *Le Monde*, A. T., vol. XI, p. 41). En principio tiene razón Descartes. De hecho, se equivoca: Galileo es un platónico.

[111] *Carta a Mersenne*, octubre-noviembre de 1631, A. T., vol. I, p. 228 En 1638 (*Carta a Mersenne*, del 11 de octubre de 1638, que acabamos de citar) escribirá Descartes (A. T., vol. II, p. 386): «Supone que la velocidad de los pesos que descienden aumenta siempre por igual, cosa que en otro tiempo yo también creía; pero ahora creo saber por demostración que no es verdad», puesto que precisamente la deducción galileana se basa en la noción de vacío y no tiene en cuenta —lo que es imposible— la resistencia y la fuerza motriz que determina la aceleración. Finalmente, en 1640, Descartes escribirá (*Carta a Mersenne*, 30 de agosto de 1640, A. T., vol. III, páginas 164 ss.): «Ya os he escrito varias veces que no creo que la velocidad de los cuerpos que descienden aumente siempre *in ratio duplicata temporum*, pero que puede aumentar más o menos de este modo al comienzo

vitas, levitas, durities, etc.; y hay que explicar todo esto a partir de la noción de movimiento, la *noción más simple que poseemos*[112].

Aserción paradójica: ¿acaso no es el problema del movimiento *el problema* de la filosofía desde —al menos— Aristóteles? ¿No llenan los voluminosos *De motu* las bibliotecas filosóficas? Descartes es muy consciente del carácter sorprendente de su aserción. Por eso nos dice que no se trata, en absoluto, del movimiento de los filósofos. Se trata de algo completamente diferente. «Los filósofos suponen», en efecto, «varios movimientos que piensan pueden realizarse sin que ningún cuerpo cambie de lugar... Y yo no conozco sino aquel que es más fácil de concebir que las líneas de los geómetras: el que hace que los cuerpos pasen de un lugar a otro y ocupen sucesivamente todos los espacios que están entre los dos»[113].

Los filósofos han cometido además otra fechoría. Así, «atribuyen al menor de estos movimientos una existencia mucho más sólida y real que la que atribuyen al reposo, el cual, según dicen, no es sino la privación del movimiento. Yo en cambio concibo el reposo como una cualidad que debe atribuirse a la materia mientras permanece en un lugar, así como el movimiento es una cualidad que le es atribuida mientras cambia de sitio»[114].

De donde se desprende de modo evidente que el movimiento *no es un processus* sino *un status*, y en cuanto tal sigue, en el nuevo «mundo» construido por el pensamiento de Descartes, las leyes que en el «antiguo» se aplicaba a los *estados*. Por eso, la primera de las *«reglas» según las cuales hace Dios actuar a la materia*, es: «Que cada parte de la materia, en particular, continúe estando siempre en un mismo *estado*[115], mientras el encuentro con otras no le obligue a cambiarlo. Es decir que... si es detenida en algún lugar, jamás partirá de ahí a no ser que las otras la expulsen; y una vez que ha comenzado a moverse continuará siempre con igual fuerza, hasta que las otras la detengan o la retarden»[116].

cuando descienden, aunque esto no pueda continuar; e incluso que, cuando han llegado a cierta velocidad, no la pueden aumentar más; y esto queda confirmado por lo que escribís sobre las gotas de lluvia, etc.» Observemos, de paso, que desde que la cree falsa, Descartes ya no reivindica la paternidad de esta ley.

[112] Cf. *Regulae ad directionem ingenii,* XII; *Oeuvres,* ed. A. T., vol. X, páginas 419, 420.

[113] *Le Monde,* A. T., vol. XI, p. 39.

[114] *Ibid.,* p. 40.

[115] El subrayado es nuestro.

[116] *Le Monde,* A. T., vol. XI, p. 38.

Esta ley de la conservación no es desconocida para los filósofos. Al contrario, la admiten para muchas cosas, entre ellas para el reposo, pero «han exceptuado de ella al movimiento, que es la cosa que yo deseo más expresamente comprender. Y no penséis por esto», añade Descartes, «que tengo intención de contradecirles: el movimiento de que hablan es tan diferente del que yo concibo que fácilmente puede ocurrir que lo que es verdad para uno no lo sea para el otro» [117].

Como sabemos, Descartes tiene razón: su movimiento-estado, el movimiento de la física clásica, no tiene nada en común con el movimiento-proceso de la física de Aristóteles y de la escolástica. Y esa es la razón por la que los cuerpos obedecen en su ser a leyes completamente diferentes: mientras que en el bien ordenado cosmos de Aristóteles el movimiento-proceso tiene, de *manera evidente,* necesidad de una causa que lo mantenga, en el mundo-extensión de Descartes el movimiento-estado se mantiene, *evidentemente,* por sí mismo y se prosigue indefinidamente en línea recta en lo infinito del espacio plenamente geometrizado que la filosofía cartesiana ha abierto ante él.

Una vez más, no necesitamos insistir en la importancia y el carácter decisivo de la obra cartesiana que, con seguridad incomparable, lleva a cabo la demolición del cosmos y suministra el marco de la nueva ontología. Pero veamos ahora el revés de la medalla.

El movimiento cartesiano, ese movimiento que es la cosa más clara y más fácil de conocer, no es, como nos dice Descartes, el movimiento de los filósofos. Pero tampoco es el movimiento de los físicos. Ni siquiera el de los cuerpos físicos. Es el movimiento de los geómetras. Y el de los entes geométricos: el movimiento del punto que traza una línea recta, el movimiento de una recta que describe un círculo... Pero estos movimientos, al contrario que los movimientos físicos, no tienen velocidad y no se realizan en el tiempo. La geometrización a ultranza —ese pecado original del pensamiento cartesiano— lleva a lo intemporal: conserva el espacio, elimina el tiempo [118]; disuelve al ser real en el geométrico. Pero lo real se venga.

La ley de la caída de los cuerpos, tal como en otros tiempos la habían formulado Descartes (dejemos de lado el hecho de que se equivocara al formularla) y Beeckman, tal como entre

[117] *Ibid.*

[118] Es de destacar que para Descartes y los cartesianos, la extensión es sustancia o atributo esencial, mientras que la duración se confunde con el ser y el tiempo no es más que un modo. E incluso un modo subjetivo.

tanto la había formulado Galileo, era sin duda alguna una ley «abstracta»; una ley que no podía realizarse tal cual en la experiencia cotidiana del hombre. En efecto, suponía la existencia del vacío; y, estrictamente hablando, no era válida sino en el vacío, pues hacía abstracción de la resistencia del aire. Aquella ley suponía, además, como expresamente lo formulara Descartes, que la acción de la pesantez era siempre igual a sí misma. Suposición que no se podía admitir mientras no se conociera la verdadera naturaleza de la pesantez. Pues bien, Descartes la conoce ahora: la pesantez no es, de ninguna manera, una cualidad simple y última del cuerpo; tampoco es la expresión de la atracción del cuerpo pesado por la tierra: resulta de un empuje, del hecho de que el cuerpo sea empujado hacia la tierra por una multitud de partículas, por la materia sutil que gira como un torbellino alrededor del globo terrestre [119]. Se ve pues claramente que admitir el vacío es contrario al sentido común: no sólo el vacío es en sí imposible; no sólo la aceptación de su existencia nos obligaría a admitir la noción oscura y mágica de acción a distancia (atracción), sino que también, y más concretamente, el hecho de asumir el vacío no facilitaría de ningún modo la explicación de la caída de los graves: por el contrario, la haría imposible: «No hay duda —escribe Descartes— de que si la materia sutil que gira alrededor de la tierra no estuviera girando, ningún cuerpo sería pesante...» [120].

Ahora bien, en lo que antaño «comunicara» Descartes por carta a Mersenne sobre la caída de los graves, «no sólo suponía el vacío, sino también que la fuerza que hacía moverse a esta piedra, actuaba siempre por igual, lo que repugna abiertamente a las leyes de la naturaleza: pues todas las potencias naturales actúan más o menos, según que el objeto esté más o menos dispuesto a recibir su acción; y es seguro que la piedra no está igualmente dispuesta a recibir un nuevo movimiento o un aumento de velocidad cuando se mueve muy deprisa que cuando se

[119] *Carta a Mersenne*, 16 de octubre de 1639, A. T., vol. II, pp. 593 ss. «Para entender cómo la materia sutil que gira alrededor de la tierra empuja a los cuerpos pesados hacia el centro, llenad con granos de plomo cualquier vasija redonda, y mezclad entre ese plomo algunas piezas de madera o de otra materia más ligera que el plomo, que sean más gruesas que los granos; luego, haciendo girar muy deprisa la vasija comprobaréis que los granos de plomo empujarán a todas esas piezas de madera, o de otra materia análoga, hacia el centro de la vasija, de igual modo que la materia sutil empuja a los cuerpos terrestres, etc.» Sobre la teoría cartesiana de la gravitación, cf. la excelente obra de P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, París, 1934.

[120] *Carta a Mersenne*, 25 de diciembre de 1639, A. T., vol. II, p. 635.

mueve muy lentamente»[121]. Se desprende que la aceleración no es uniforme; por consiguiente, la base misma del razonamiento se desmorona.

Podría uno sorprenderse de que Descartes parezca desconocer su propia ley de la relatividad del movimiento, que sin embargo afirmará *expressis verbis*[122]. También podría uno sorprenderse de que hable de potencias naturales... puesto que «potencias naturales», en el mundo de Descartes —ese mundo de la geometría cosificada— no hay más que una: el *movimiento*. Pero, para esta potencia, la proposición de Descartes es plenamente válida. Efectivamente, en el mundo de Descartes hay un solo modo de comunicación entre las sustancias: el contacto. Y un solo medio de acción: el choque. Ahora bien, es evidente que la fuerza del choque que experimenta un cuerpo por parte de otro que se mueve a una velocidad determinada depende de su propio estado de movimiento. Por ello, los sucesivos choques que experimenta un cuerpo que cae serán cada vez más débiles y su velocidad, en lugar de aumentar indefinidamente, se acercará a un límite: a la velocidad de la misma materia sutil. En efecto, he aquí cómo se explica la aceleración del grave en caída libre: «La materia sutil empuja en el primer momento al cuerpo que desciende, y le da un grado de velocidad...; lo que se hace *fere rationem duplicatam*, al comienzo del descenso de los cuerpos. Pero esta proporción se pierde enteramente cuando han descendido varias toesas, y la velocidad no aumenta ya o apenas lo hace»[123].

Así, puesto que el mecanismo de la caída se descompone en el del choque, es evidente que la naturaleza, es decir, la cons-

---

[121] *Carta a Mersenne*, octubre-noviembre de 1631, A. T., vol. I, p. 230; A. M., vol. I, p. 211.

[122] Véase *infra*, pp. 322 ss. En efecto, Descartes no desconoce la noción de la relatividad; por el contrario, la aplica.

[123] *Carta a Mersenne*, del 11 de marzo de 1640, A. T., vol. III, pp. 37 ss. Cf. *Carta a Mersenne*, 11 de junio de 1640, A. T., vol. III, p. 79. «La razón que me hace decir que los cuerpos que descienden son menos empujados por la materia sutil al final de su movimiento que a su comienzo no es otra sino la de que hay menos desigualdad entre su velocidad y la de esta materia sutil. Pues, por ejemplo, si el cuerpo A, estando sin movimiento, se encuentra con el cuerpo B, que tiende a moverse hacia C, a tal velocidad que puede hacer una legua en un cuarto de hora, el cuerpo A será más empujado por ese cuerpo B que si se moviera ya por sí mismo hacia C a tal velocidad que pudiera hacer una legua en media hora, y no será empujado en absoluto si se mueve ya tan deprisa como aquél, es decir, de modo que pueda hacer una legua en un cuarto de hora.»

B A C

titución física de los graves, debe desempeñar en esto un papel determinante. Así como los cuerpos son más o menos permeables a la luz, así también oponen mayor o menor resistencia al paso de las partículas de la materia sutil; lo que quiere decir que sufren más o menos sus choques. De lo que se deduce que caen a velocidad desigual. Y efectivamente escribe Descartes a Mersenne: «En cuanto a lo que me enviáis del cálculo que hace Galileo de la velocidad con la que se mueven los cuerpos que descienden, no se relaciona de ningún modo con mi filosofía, según la cual dos cuerpos esféricos de plomo, por ejemplo uno de una libra y otro de cien libras, no tendrán entre ellos la misma relación que dos cuerpos de madera, uno también de una libra y otro de cien libras, ni tampoco que dos de plomo, el uno de dos libras y el otro de doscientas libras; éstas son cosas que él no distingue, lo que me hace creer que no ha llegado a la verdad» [124].

Indudablemente, ¿pero cuál es esa verdad? ¿Cómo caen los cuerpos *in rerum natura?*

Descartes, primeramente, espera poder «determinar ahora en qué proporción aumenta la velocidad de la piedra que desciende, no *in vacuo* sino *in hoc vero aero»* [125]. Pero los años pasan, y Descartes se percata de que la cosa es más difícil de lo que había pensado. Sabe, sin duda, que Galileo se equivoca al creer que todos los cuerpos caen a la misma velocidad. Y que se equivoca, asimismo, al creer en la independencia de los movimientos entre sí. Esto está bien en abstracto. Pero en la realidad... «En cuanto a lo que dice de un cañón disparado paralelamente al horizonte, creo que encontraréis una diferencia bastante sensible si hacéis exactamente la experiencia» [126]. Es Descartes quien tiene razón: la resistencia del aire *sostiene* al cuerpo que se mueve a través de él. Pero ¿y la determinación positiva? Descartes no consigue darla y, melancólico, escribe a Mersenne: «Os pido que me excuséis si no respondo a vuestra pregunta acerca de la demora que sufre el movimiento de los cuerpos pesados debido al aire en que se mueven; pues es una cosa que depende de tantas otras que no podría ofrecer un cumplido relato en una carta; sólo puedo decir que ni Galileo ni

---

[124] *Carta a Mersenne*, noviembre-diciembre de 1632, A. T., vol. I, p. 260, ed. Adam-Milhaud, vol. I, p. 234.

[125] *Ibid.*, ed. A. T., vol. I, p. 231, ed. Adam-Milhaud, vol. I, p. 211.

[126] Como se sabe, Galileo había afirmado que una bala de cañón lanzada horizontalmente desde lo alto de una torre tocará tierra en el mismo instante que otra a la que se dejara caer verticalmente. Véanse *Dialogo, Opere*, vol. VII, p. 181, e *infra*, p. 220. *Carta a Mersenne*, 19 de agosto de 1634, A. T., vol. I, p. 305, ed. Adam-Milhaud, vol. I, p. 265. Cf. p. 287.

ningún otro están en condiciones de determinar nada de esto de modo claro y demostrativo, si previamente no saben qué es la pesantez y no poseen los verdaderos principios de la física» [127]. Indudablemente. Pero Descartes posee «esos verdaderos principios de la física» y sabe, asimismo, qué es la pesantez. Entonces, ¿por qué nos niega la respuesta? Porque es demasiado complicada. Porque en una física tal como la suya, física del pleno y del continuo, todo depende de todo, todo actúa *instantáneamente* sobre todo. No se puede aislar ningún fenómeno y, por consiguiente, no se pueden formular leyes simples de forma matemática [128].

No es posible aislar los fenómenos. No se puede pues hacer física «abstracta», como la de Galileo. La abstracción que desprecia las complicaciones del caso concreto, real, es completamente legítima en el mundo de Galileo: un mundo arquimediano. La abstracción le permite separar el caso simple, el caso ideal, a partir del cual va a explicar el caso concreto y complejo. Pero Descartes no puede hacer más que una física concreta. La abstracción galileana no le llevaría al caso simple: le llevaría al caso *impensable*. Para hacer algo análogo a lo que hace Galileo, habría sido necesario que Descartes estudiara no el caso simple, sino el caso general [129]. Y esto, el estudio del movimiento de un cuerpo en el interior de un líquido perfecto, sobrepasa infinitamente sus medios matemáticos. Descartes lo explica diciendo que sobrepasa los límites del conocimiento humano. El estudio experimental es igualmente imposible. En efecto, ¿cómo medir el dato principal del problema, la velocidad del movimiento de la materia sutil?

De ese modo —cosa curiosa en extremo—, Descartes, que no había conseguido deducir la ley exacta de la caída, porque no había comprendido la nueva concepción del movimiento que le proponía Beeckman, y no había sabido hacer coincidir el estu-

---

[127] *Carta a Mersenne*, ¿22 de junio de 1637?, A. T., vol. I, p. 392. A. M., vol. I, p. 364. Cf. *Carta a Mersenne*, 12 de septiembre de 1638, A. T., vol. II, página 355. «Pues es imposible decir algo bueno y sólido con respecto a la velocidad sin haber explicado lo que verdaderamente es la pesantez y, juntamente, todo el sistema del mundo. Ahora bien, dado que no quería acometer esta empresa, he encontrado el medio de omitir esta consideración y de separar de tal modo las otras que las puedo explicar sin ella. Pues aun cuando no existe ningún movimiento que no tenga alguna velocidad, no obstante, sólo son considerables los aumentos o disminuciones de esta velocidad, y cuando, al hablar del movimiento de un cuerpo, se supone que se realiza conforme a la velocidad que le es más natural, es lo mismo que si no se la considerara de ningún modo.»

[128] Cf. E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, París, 1928, t. II, pp. 97 ss.

[129] Cf. G. Bachelard, *La valeur inductive de la relativité*, París, 1929.

dio físico (causal) del fenómeno de la caída con su análisis matemático, renuncia en el preciso momento en que, habiendo elucidado plenamente la idea del movimiento, llega a formular el principio fundamental de la ciencia moderna: ¡el principio de inercia! Lo que ocurre es que tampoco allí sabe guardar el equilibrio: al identificar extensión y materia, sustituye la física por la geometría. De nuevo, geometrización a ultranza. Eliminación del tiempo. Y ésta es la razón por la cual la física de las ideas claras, la física que fue una revancha de Platón, terminó en un fracaso. Fracaso análogo al de Platón[130].

III. DE NUEVO GALILEO

Y ahora, volvamos de nuevo a Galileo.

En el fragmento inserto en el segundo volumen de sus *Obras*[131], fragmento que proviene de la primera redacción de su «*ciencia nueva*», y textualmente reproducido, además, en los *Discursos y demostraciones*, Galileo escribe: «Los accidentes que corresponden al movimiento uniforme han sido examinados en el libro anterior. Ahora hay que tratar del movimiento acelerado.

»Y, ante todo, es conveniente estudiar y explicar congruentemente la definición de aquél [de los movimientos acelerados] del que se sirve la naturaleza. Pues, aunque sea lícito inventar arbitrariamente algún modo de movimiento y considerar las propiedades que de él se desprendan (así por ejemplo, los que han imaginado líneas, concoides o espirales construidas con ayuda de algunos movimientos —aunque tales movimientos no sean realizados por la naturaleza— han estudiado muy meritoriamente sus propiedades), la naturaleza, sin embargo, en sus movimientos, y en particular en los de los graves que descienden, emplea un cierto modo determinado de aceleración. Pues bien, podremos estudiar las propiedades de este modo de movimiento si la definición que vamos a dar de nuestro movimiento acelerado coincide con la esencia del movimiento naturalmente acelerado. Cosa que, tras prolongados esfuerzos mentales, confiamos haber conseguido. Guiados principalmente por el principio de que lo que se ofrece a los sentidos en las experiencias naturales debe corresponder a los síntomas que vamos a dedu-

---

[130] Es la conciencia de este fracaso la que da a la física cartesiana el aspecto pragmatista que adopta en los *Principes*.

[131] Galileo Galilei, *Opere*, vol. VII, pp. 261 ss. Cf. *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, *Opere*, vol. VIII, p. 197.

cir, y concordar con ellos. Por último, en la investigación de la definición del movimiento naturalmente acelerado fuimos guiados, como llevados de la mano, por la comprensión del carácter y de los hábitos de la naturaleza en todas sus demás obras, en las que acostumbra emplear los medios más al alcance, los más sencillos y fáciles.

»Ahora bien, creo que nadie pensará que la natación o el vuelo pueda realizarse de manera más sencilla y fácil que aquella en que lo hacen, por su constitución natural, peces y pájaros.

»Luego, puesto que veo que la piedra que desciende de lo alto a partir del reposo adquiere constantemente nuevos incrementos de velocidad, ¿por qué no he de creer que esas adiciones se verifican de la manera más sencilla y obvia de todas? El móvil es el mismo, el principio del movimiento también es el mismo. ¿Por qué no ha de serlo igualmente el resto? Tú dirás: entonces la velocidad es la misma [uniforme]. De ninguna manera. Es en efecto constante que la velocidad no sea la misma y que el movimiento no sea uniforme. Se debe, pues, buscar y plantear la identidad —o, si se prefiere, la uniformidad y la sencillez— no en la velocidad sino en el incremento de la velocidad, es decir, en la aceleración. Que si lo examinamos atentamente no encontraremos ningún incremento más sencillo que el que se sobreañade siempre de la misma manera. Pues bien, comprenderemos fácilmente qué manera es esa en cuanto fijemos nuestra atención en la *afinidad suprema [que existe] entre el movimiento y el tiempo*[132]. En efecto, así como la uniformidad y la igualdad del movimiento se definen y conciben por la igualdad de los tiempos y de los espacios (en efecto, llamamos uniforme a la traslación en la que espacios iguales son recorridos en tiempos iguales), así también podemos concebir *incrementos de velocidad iguales que se efectúan durante esas mismas partes de tiempo*[133], entendiendo que el movimiento uniformemente y, por consiguiente, continuamente acelerado es aquél en el que, en *tiempos iguales*[134] —cualesquiera que sean— se sobreañaden incrementos iguales de velocidad. Es decir, que cualesquiera que sean las partes iguales de tiempo que admitamos, a partir del primer instante en el que el móvil abandona el reposo y comienza a descender, el grado de velocidad, adquirido en la primera y segunda parte del tiempo tomadas en conjunto, es doble del grado de velocidad adquirido en la primera parte

[132] El subrayado es nuestro.
[133] El subrayado es nuestro.
[134] El subrayado es nuestro.

sola; y el grado de velocidad que el móvil adquirirá en tres partes de tiempo, triple; en cuatro, cuádruple del grado de velocidad [adquirido en] el primer tiempo. De tal forma que si el móvil continuara su movimiento con el grado de velocidad, o momento, adquirido en la primera parte del tiempo y lo continuara prolongándolo a velocidad uniforme, esta traslación habría sido dos veces más lenta que la que efectuara con el grado de velocidad adquirido durante el segundo tiempo.

»De donde resulta que no nos alejaremos de la recta razón si admitimos que la intensión de la velocidad [135] aumenta con la extensión del tiempo» [136].

La definición galileana del movimiento uniformemente acelerado postula, *expressis verbis*, un incremento *continuo* de su velocidad y, en particular, su incremento *continuo* a partir del reposo [137]; en términos galileanos, implica que el cuerpo «pasa por *todos* los grados de velocidad y lentitud», es decir, que al principio de su recorrido se mueve con una lentitud infinita. Esta concepción, admitida por Galileo ya en Pisa, les parecía, con razón, extraña e inverosímil a los mejores cerebros de la época [138]. En efecto, ¿cómo admitir un movimiento que se

---

[135] La *intensión de la velocidad* o *grado de velocidad* es la velocidad instantánea del móvil. Descartes lo llamará «momento» o punto de velocidad.

[136] Este admirable fragmento, publicado por Alberi entre las obras de la época pisana por considerarlo perteneciente a la primerísima juventud de Galileo, es retrotraído por Favaro hasta la época de Padua. Favaro le asigna la fecha de 1604. No podemos aceptar esa fecha. En efecto: 1) la carta a Paolo Sarpi es del 16 de octubre de 1604; ahora bien, Galileo nos dice que el descubrimiento de la definición correcta del movimiento acelerado le ha causado «prolongados esfuerzos mentales», lo que está confirmado por el número de fragmentos, publicados por Favaro como apéndice a los *Discorsi* (*Opere*, vol. VIII, pp. 370 ss.) que dan la falsa deducción de la ley, basada en la definición incorrecta: todo ello no se comprendería si, desde 1604, estuviera Galileo en posesión de la correcta; 2) el uso que Galileo hace de los métodos del cálculo de los indivisibles nos obligaría a admitir que lo había elaborado veinte años antes que Cavalieri. Nos parece, pues, necesario, sin volver a la hipótesis de Caverni (*Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, pp. 307 ss., Bolonia, 1895) —quien relega el descubrimiento a los años 1622-1623—, admitir la de Wohlwill, quien lo sitúa en 1609, y, por consiguiente, remitir ese fragmento a una fecha posterior a la que le asigna Favaro.

[137] Esto no era inútil: la prueba es que el propio Descartes, quien no admitía más que acciones instantáneas, dudaba de ello. Véanse *Carta a Mersenne*, del 11 de octubre de 1638, A. T., vol. II, p. 399, e *infra*, pp. 135 ss.

[138] Cf. Mersenne, *Harmonie universelle*, t. I, París, 1636, p. 74: «La mente humana no es capaz de comprender cómo es posible que un movimiento continuo sea más lento que otro, lo que ha obligado al filósofo español Arriaga y a varios otros a decir que la lentitud del movimiento no es más que una interrupción de varios reposos, aunque los sentidos no puedan

realiza con una lentitud infinita? ¿Cómo concebir el paso *continuo* del reposo al movimiento, es decir, de la nada a algo? ¿No hay que admitir, por el contrario, en la realidad física, un mínimo de movimiento, correlativo a un mínimo de acción?[139]. El propio Cavalieri duda y pide explicaciones[140].

La pregunta de Cavalieri no pilló desprevenido a Galileo. Ya en el fragmento que antes citamos se había hecho a sí mismo la objección[141]: «Si, desde el primer instante del movimiento a partir del reposo, se hace una adición perpetua de velocidad nueva, y si se hace según la misma razón y la misma ley según las cuales el transcurso del tiempo, a partir del primer instante, recibe perpetuamente nuevas adiciones, habrá motivos para pensar que, así como tras el primer instante no se puede asignar un tiempo tan breve que otros y otros más, cada vez más breves, no se interpongan entre él y el primer instante, así tampoco, tras el abandono del reposo, no se podrá asignar un grado de velocidad tan pequeño, o de tan gran lentitud, que el móvil que desciende no haya poseído, antes que él, otro más lento aún; y como la lentitud puede aumentar, o la velocidad disminuir, infinitamente, habrá que admitir que el móvil, en un momento determinado, llegará a poseer un momento de lentitud tan inmenso que, moviéndose con éste años enteros no recorra el espacio de un dedo». Lo que en verdad parece sorprendente, e incluso absurdo; sin embargo, «aunque sorprendente a primera vista, esto no es de manera alguna falso; el experimento, apenas inferior a la demostración, puede mostrarlo a cualquiera».

El experimento[142] —¿es necesario decir que, como casi siempre en Galileo, se trata de un experimento mental?— consiste en imaginar una estaca clavada en tierra, sobre la cual se deja caer un peso; se advierte que el movimiento descendente de la estaca está en función de la velocidad con la que el peso la golpea; y del hecho de que el peso que cae de una altura muy pequeña no produzca o casi no produzca efecto, se concluye la lentitud casi infinita de su movimiento.

---

percibirlos, y que son tanto más largos y numerosos cuanto más lento es el movimiento... Lo que supone que también ocurre en el movimiento natural de las piedras y de los cuerpos pesados que caen hacia el centro de la tierra...» Cf. *Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, pp. 291 ss.

[139] Tal fue, entre otras, la opinión de Beeckman. Cf. *Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, pp. 260, 400. Esta concepción no es en modo alguno absurda: es la de la teoría de los *quanta*.

[140] *Carta a Galileo*, del 21 de marzo de 1626 (*Opere*, vol. XIII, p. 312).

[141] *Opere*, vol. II, p. 262.

[142] Cf. *Opere*, vol. II, p. 263.

Este argumento experimental gusta mucho a Galileo, quien lo repetirá en los *Discursos* en forma apenas diferente —lo citaremos, por lo demás, *in extenso*—, pero se da cuenta de que no vale como demostración. Por eso refuerza su «experimento» con las siguientes consideraciones [143]: «No hay que perder de vista que los mismos grados de velocidad pueden ser adquiridos en tiempos más o menos grandes, y ello por causas diversas, una de las cuales —que nos interesa particularmente— es la longitud del espacio en el que se realiza el movimiento. Efectivamente, los graves no sólo tienden, por la vertical, hacia el centro de todas las cosas graves, sino que también [se mueven] en los planos inclinados hacia el horizonte, y esto tanto más lentamente cuanto menor es esa inclinación; más lentamente, pues, en aquéllos cuya elevación sobre el horizonte es mínima, y la infinita lentitud, es decir, el reposo [144], se encuentra sobre el mismo plano horizontal. Ahora bien, la diferencia en los grados de velocidad que así se adquieren es tan grande que el grado adquirido por el grave al caer verticalmente en un minuto no puede adquirirse en el plano inclinado más que al cabo de una hora, de un día, de un mes, de un año entero, y esto a pesar de que los graves descienden con una aceleración continua». La no incompatibilidad e incluso la gran posibilidad de estos «accidentes» puede ser explicada «por un ejemplo geométrico que, simbolizando las velocidades por líneas y el transcurso continuo del tiempo por el movimiento uniforme de otra línea, nos muestre que los grados de velocidad son realmente infinitos en número».

Curioso argumento que, obviamente, presupone lo que precisamente se trata de demostrar y que, además, admite como evidente que los cuerpos que caen de una altura determinada adquieren siempre el mismo grado de velocidad, cualquiera que sea la vía —vertical o plano inclinado— que hayan seguido [145].

El *Dialogo*, obra que sólo es científica a medias [146], pasa hábilmente por encima del problema de la continuidad. Pero los *Discursos* vuelven a la carga; ya en el principio del libro II de

---

[143] *Ibid.*, p. 264.

[144] La asimilación del reposo a la «lentitud infinita» parece restablecer la continuidad entre «reposo» y «movimiento». Pero, en realidad, esto no es más que una apariencia: el paso de lo infinito a la finito no es más fácil que el paso de la nada a algo.

[145] Galileo admite como «postulado» o axioma que la velocidad del cuerpo que desciende no depende más que de la *altura* de la caída, Cf. *infra*, p. 237.

[146] Sobre la estructura literaria y espiritual del *Dialogo* y de los *Discorsi*, y el papel atribuido a los interlocutores, véanse *infra*, pp. 200 ss.

la *Tercera jornada,* libro que contiene un estudio del movimiento acelerado, Galileo se plantea, por boca de su amigo Sagredo, la siguiente objeción:

SAGREDO.—«En cuanto a mí, aunque no pueda oponerme con razones a esta definición —ni a ninguna otra propuesta por cualquier autor, ya que todas ellas son arbitrarias—, estimo que es posible, sin ánimo de ofender, dudar de que tal definición, concebida y admitida *in abstracto,* se adapte, convenga y se verifique en este tipo de movimiento natural que efectúan los graves que descienden. Y puesto que parece que se afirma que el movimiento natural de los graves es tal como se le ha definido, me gustaría que alguien me librara de ciertos escrúpulos que turban mi ánimo, a fin de dedicarme luego con mayor atención a las proposiciones y a sus demostraciones» [147].

Como se ve, lo que aquí está en juego es el derecho del matematismo en física. Sagredo sabe bien que en geometría pura, o en cinemática pura, se puede hablar de una serie infinita de cantidades —de fracciones— intercaladas entre cero y algo; e incluso que no se puede hacer de otra forma. Pero, ¿con qué derecho se trasladan estas consideraciones abstractas del dominio de la matemática al de lo real? Por eso prosigue [148]: «Imagino un móvil grave que desciende a partir del reposo, o sea, de la privación de toda velocidad; imagino que entra en movimiento, y éste va acelerándose en la proporción en que se incrementa el tiempo a partir del primer instante del movimiento; por ejemplo, en ocho latidos de pulso habrá adquirido ocho grados de velocidad, de ellos sólo cuatro en cuatro pulsaciones, dos en dos, uno en una; ahora bien, como el tiempo es subdivisible infinitamente, se desprende que disminuyendo siempre en la misma proporción la velocidad precedente, no habrá ningún grado de velocidad por pequeño que sea, o, mejor dicho, ninguna lentitud por grande que sea que no haya experimentado el móvil desde que partió de la lentitud infinita, es decir, del reposo. Por consiguiente, si el grado de velocidad que posee el móvil después de la cuarta pulsación es tal que, siendo uniforme esa velocidad, le hiciera recorrer dos millas en una hora, y si, con el grado de velocidad que posee al cabo de la segunda pulsación, hubiera recorrido una milla en una hora, se desprende que en los instantes cada vez más próximos al primer instante de su movimiento a partir del reposo, el móvil iría tan lentamente que, si se hubiera continuado moviendo con la misma lentitud, no habría recorrido una milla ni en una hora ni en un

---

[147] *Discorsi e dimostrazioni...,* jornada III, l. II (*Opere,* vol. VIII, p. 198)
[148] *Ibid.,* p. 195.

día ni en un año, ni en mil, y no atravesaría ni siquiera el palmo de una mano en un tiempo mayor aún. A lo que parece que *nuestra imaginación se acomoda con bastante dificultad*[149], tanto más cuanto que el sentido nos muestra que un grave que cae alcanza de inmediato gran velocidad».

Contra el argumento cinemático —abstracto— Sagredo invoca el testimonio de la experiencia. Por ello Galileo le responde invocando la experiencia, o más exactamente, proponiendo *hacer un experimento*[150]: «Esa fue una de las dificultades que me hicieron reflexionar al principio. Pero la resolví poco después, y ello gracias a la misma experiencia que la ha engendrado en vuestra mente. Decís que la experiencia muestra que, apenas salido del reposo, el grave adquiere una velocidad considerable; y yo digo que esa misma experiencia nos muestra que los primeros *impetus* del móvil, por pesado que sea, son muy lentos y débiles. Colocad un grave sobre una sustancia que ceda, y soltadlo hasta que la oprima todo lo que pueda con su sola gravedad; está claro que si se le eleva un codo o dos y luego se le deja caer sobre esa misma sustancia, debido al choque producirá una nueva presión, mayor que la que antes había hecho con su solo peso; y este efecto se producirá por [la combinación] del [peso del] móvil que cae y la velocidad adquirida en la caída[151]; y la presión será tanto mayor cuanto mayor sea la altura de la caída, es decir, que la velocidad del cuerpo que cae será mayor. Por lo tanto la velocidad de un cuerpo que cae puede, sin error, ser evaluada por la calidad y la cantidad del choque. Ahora bien, si se deja caer un pedrusco sobre una estaca desde la altura de dos codos, no se hundirá mucho, y menos aún si cae desde la altura de uno, y todavía menos si es desde la altura de un palmo; finalmente, si cae desde la altura de un dedo ¿qué puede hacer más de lo que haría si hubiera sido posado sin choque sobre la estaca? Muy poca cosa, sin duda; y ese efecto resultaría totalmente imperceptible si se le hubiera elevado a la altura de una hoja. Y puesto que el efecto del choque depende de la velocidad del cuerpo que choca, ¿quién dudará, pues, de que allí donde su operación es imperceptible, la velocidad no sea más que mínima, y el movimiento más que lento? Tal es la fuerza de la verdad: que la misma experiencia, que a primera

[149] El subrayado es nuestro. Sagredo tiene toda la razón: la *imaginación* se niega a aceptar el *razonamiento* matemático. Por eso se trata precisamente de sustituir la primera por el segundo.

[150] *Ibid.*, p. 200.

[151] El producto de la velocidad por el peso es el *momento*. Véase *supra*, página 92.

vista parecía mostrar una cosa, mejor examinada nos afirme lo contrario».

Sin embargo, Galileo no estima que un problema de esta importancia, problema del fundamento de la propia ciencia, se pueda resolver valiéndose de la experiencia. La experiencia confirma o invalida el razonamiento, no lo reemplaza. Por ello nos dice[152]: «Pero incluso sin reducirnos a este experimento (que sin duda es concluyente), me parece que no es difícil comprender esta verdad simplemente mediante el razonamiento. Tomemos una piedra pesada sostenida en reposo en el aire; liberémosla del soporte y dejémosla libre; al ser más pesada que el aire descenderá y no con un movimiento uniforme, sino lento al principio y acelerado continuamente después; ahora bien, puesto que la velocidad puede ser aumentada y disminuida infinitamente, ¿tengo alguna razón para creer que este móvil, partiendo de una lentitud infinita (esto es, del reposo), adquirirá de inmediato diez grados de velocidad en vez de cuatro, dos, uno, medio, o una centésima de grado, o incluso una de la infinidad de las más pequeñas? Os ruego que me escuchéis. No creo que os neguéis a reconocerme que la adquisición de grados de velocidad por una piedra que cae partiendo del reposo se realiza de la misma manera que la disminución y la pérdida de esos mismos grados cuando, bajo la acción de un impulso, la piedra es lanzada hacia arriba a la misma altura. Pues bien, en este último caso no me parece que pueda dudarse de que en el momento de la disminución de la velocidad de la piedra ascendente, no pueda la piedra llegar al estado de reposo sin antes pasar por todos los grados de lentitud». «Pero, objeta el aristotélico, si los grados de lentitud cada vez mayor son infinitos, jamás se agotarán completamente. De este modo, ese grave ascendente no llegará jamás al reposo, sino que se moverá indefinidamente, disminuyendo de velocidad sin cesar[153]; lo que no se ve que suceda.»

Se ve muy bien lo que —según el propio Galileo— hace que su postura sea tan difícil de comprender: es que para comprenderla hay que forjarse la noción —la noción de una infinidad de grados de velocidad recorridos en un tiempo finito; y para ello

---

[152] *Ibid.*, p. 201.

[153] Que esto es efectivamente así, es decir, que no hay detención necesaria en un movimiento que disminuye de velocidad sin cesar, es algo que Benedetti ya había hecho ver (cf. *supra*, pp. 49 ss.). Pero Galileo habría podido invocar la autoridad del propio Aristóteles, quien, en su *Física*, l. V, c. 6,230b; l. VI, c. 8,238b) nos explica que no hay nunca primero ni último momento del movimiento, ni, correlativamente, último o primer momento del reposo.

hay que forjarse la noción inimaginable— de la velocidad en el instante, es decir, la noción de un movimiento, por decirlo así, inmóvil, de un movimiento que parece renegar en cierto modo de su afinidad con el tiempo [154]. En otros términos, la noción de diferencial del movimiento. Galileo continúa entonces [155]: «Esto sucedería si el móvil permaneciera durante algún tiempo en cada uno de los grados; pero no hace sino pasar, sin permanecer en ellos más de un instante; y puesto que en cada *quantum* de tiempo, por pequeño que sea, hay una infinidad de instantes, existen pues en número suficiente para corresponder a la infinidad de grados de la velocidad decreciente. Ahora bien, que el grave que asciende no permanece durante ningún lapso con el mismo grado de velocidad se ve en lo siguiente: en efecto, si —habiendo determinado un lapso cualquiera— el móvil, en el último instante de ese lapso, resultara tener el mismo grado de velocidad que en el primero, podría, por este segundo grado, ser elevado a la misma altura que ha atravesado al pasar del primero al segundo. Ocurriría lo mismo del segundo al tercero y, finalmente, continuaría su movimiento uniforme hasta el infinito».

Al ser desechada la objeción infinitesimal, podemos admitir con confianza la definición del movimiento uniformemente acelerado.

DEFINICION

Llamo movimiento uniformemente, o igualmente, acelerado al movimiento cuyos momentos o grados de velocidad aumentan, a partir del reposo, con el incremento mismo del tiempo a partir del primer instante del movimiento.

Hay que reconocerlo: las explicaciones de Galileo no satisfacen a todo el mundo. En particular a Descartes: éste había comenzado por admitir la continuidad: ¿no es la velocidad una magnitud, y no es la continuidad el *proprium* de ella? Pero desde el momento en que sustituye la física abstracta del movimiento en el vacío por la física concreta del movimiento en el pleno, le entran las dudas. Por ello escribe a Mersenne [156]: «Respecto a lo que dice Galileo de que los cuerpos que descienden pasan

[154] En realidad, no sucede nada de esto. Al contrario, únicamente la noción del movimiento en el instante, la noción de momento o elemento del movimiento y de la velocidad, permite resolver las dificultades puestas en evidencia por los argumentos de Zenón.

[155] *Discorsi*, III, l. II, p. 201. Cf. I, p. 62.

[156] *Carta a Mersenne*, 11 de octubre de 1638, A. T., vol. II, pp. 399 ss.

por todos los grados de velocidad, no creo que de ordinario suceda así, aunque no es imposible que alguna vez ocurra. Y hay un error en el argumento de que se sirve M. F.[157] para refutarle en lo que dice de que *acquiritur celeritas, vel in primo instanti, vel in tempore aliquo determinato;* pues ni lo uno ni lo otro es cierto...».

La indecisión cartesiana es visible. Y se comprende bien la razón: por una parte su matematismo le empuja a admitir la continuidad de la aceleración, o al menos su posibilidad; por otra parte, el intemporalismo o, cuando menos, el instantaneísmo, de su física le empuja a afirmar la posibilidad de la variación discontinua. Pues Descartes lo comprende perfectamente: continuidad quiere decir temporalidad, quiere decir imposibilidad de una acción instantánea finita, y las razones que da Galileo se resumen finalmente en una afirmación renovada de la afinidad del movimiento y del tiempo. Descartes toma entonces partido por él[158]:

«Acabo de revisar mis notas sobre Galileo, donde realmente no había dicho que los cuerpos que descienden no pasan todos los grados de lentitud, pero sí que esto no se puede determinar sin saber qué es la pesantez, lo que viene a ser lo mismo. En cuanto a vuestro ejemplo del plano inclinado, prueba que toda velocidad es divisible hasta el infinito, con lo que estoy de acuerdo, pero no que cuando un cuerpo comienza a descender pasa por todas estas divisiones. Y no creo que penséis que cuando se golpea una bola con un mazo, la bola, al comienzo de su movimiento, vaya menos rápida que el mazo; ni, en fin, que todos los cuerpos que son empujados por otros dejen de moverse desde el primer instante con una velocidad proporcional a la de los cuerpos que los mueven[159]. Ahora bien, en mi opinión, la pesantez no es sino el hecho de que los cuerpos terrestres son empujados realmente hacia el centro de la tierra por la materia sutil, de donde sacaréis fácilmente la conclusión. Pero no por eso se debe pensar que estos cuerpos se mueven al comienzo tan deprisa como esa materia sutil, pues ésta sólo los

---

[157] Probablemente Frenicle.

[158] De hecho, el partido que toma Descartes es el de la imaginación.

[159] Cf. Galilei, *Adición manuscrita a su ejemplar del Dialogo. Opere*, volumen VII, p. 48... «Si un móvil por pesado que sea se mueve a la velocidad que se quiera, y se encuentra con un cuerpo cualquiera que esté en reposo, aunque sea el más débil y de resistencia mínima, ese móvil jamás le conferirá, al encontrarse con él, su velocidad propia: cosa que evidentemente se deduce de que se oye el sonido del choque, lo que no se oiría, o mejor dicho, no sucedería, si el cuerpo que estaba en reposo recibiera, desde la llegada del móvil, la misma velocidad que éste.»

empuja oblicuamente y se hallan muy obstaculizados por el aire, en especial los más ligeros»[160].

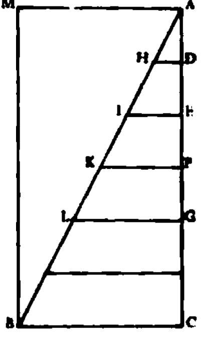
El movimiento uniformemente acelerado es el de la caída de los graves. Pero ¿a qué se debe este movimiento? ¿Qué es la gravedad? Descartes nos dice que es indispensable saberlo. Galileo se niega a responder[161]. E incluso rechaza la pregunta. Sin duda él mismo está íntimamente persuadido de que Gilbert tiene razón: es decir, que la fuerza de la pesantez es algo como la atracción magnética y que la tierra es un gran imán[162]. Pero la persuasión es una cosa; la prueba, otra. Y nadie, ni el propio Gilbert, ni Kepler la han aportado todavía. Pues nadie —tampoco Galileo, pese a sus prolongados estudios sobre el imán y la fuerza magnética— ha sido capaz aún de ofrecer una teoría racional, es decir *matemática*, de la atracción y del magnetismo. Entonces, hay que prescindir de ella. Por lo demás, sea cual fuere la causa, se puede admitir que actúa de continuo y que, por lo tanto, el movimiento que de ella resulta representa un tipo bien determinado de movimiento. Por esto nos dice[163]: «No me parece oportuno proceder ahora a investigar la causa de la aceleración del movimiento natural, cuestión sobre la que diferentes filósofos han emitido distintas teorías; unos la han reducido a la aproximación al centro; otros, al hecho de que, sucesivamente, queda una parte menor del medio por atravesar; otros, a una cierta extensión del medio ambiente, el cual, alcanzando la parte posterior del móvil, lo presiona y lo empuja continuamente. Habría que examinar estas y otras fantasías, pero sería poco provechoso hacerlo. Por el momento es suficiente... estudiar y demostrar algunas afecciones del movimiento acelerado (sea cual fuere la causa de su aceleración) de manera que los momentos de su velocidad aumentan, después de su partida del reposo, en la simple proporción en que tiene lugar el incremento del tiempo, lo que quiere decir que, en tiempos iguales, tiene lugar un incremento igual de la velocidad. Y si los accidentes deducidos se verifican en el movimiento de los graves naturalmente descendentes y acelerados, podremos estimar que la definición asumida expresa el movimiento de los graves y que es verdad que su aceleración crece como crece el tiempo y la duración del movimiento».

---

[160] *Carta a Mersenne*, 22 de enero de 1640, A. T., vol. III, pp. 9 ss.
[161] Véase *supra*, p. 78, e *infra*, pp. 246 ss.
[162] *Dialogo*, pp. 426 ss.
[163] *Discorsi*, p. 202.

La deducción de los «accidentes» del movimiento uniformemente acelerado, o sea, la de las relaciones entre la duración de la caída, la velocidad y el camino recorrido fue presentada por Galileo en dos formas diferentes; y no deja de ser interesante estudiarlas.

La demostración del *Diálogo* está basada en la continuidad de la aceleración y pone en juego las nociones de «velocidad instantánea», «momento» y «suma de las velocidades», la cual se identifica con el espacio recorrido... [164]. «En el movimiento acelerado [165], nos dice Galileo, el incremento de velocidad es continuo y... los grados de velocidad que cambian de un momento a otro... son infinitos; por ello podremos ilustrar mejor nuestra concepción dibujando un triángulo, ABC, señalando en el lado AC tantas partes iguales como se quiera, AD, DE, FG, etc., y trazando por los puntos D, E, F, G, etc., líneas rectas, paralelas a la base BC; seguidamente quiero que se imagine que las partes de la línea AC son tiempos iguales; que las paralelas trazadas por los puntos D, E, F, G, etc., representan los grados de velocidad acelerados que crecen por igual en tiempos iguales, y que el punto A es el estado de reposo, de donde parte el móvil que en el tiempo AD habrá adquirido el grado de velocidad DH; que en el siguiente tiempo la velocidad habrá crecido desde el grado DH hasta el grado EI y luego se hará mayor en los tiempos sucesivos según el incremento de las líneas



[164] La demostración del *Dialogo* empieza por el análisis de un ejemplo concreto: un cuerpo lanzado hacia arriba, que después de haber subido cae de nuevo a su punto de partida, se mueve a una velocidad cada vez menor en la primera parte del movimiento (ascendente), y cada vez mayor en la segunda (descendente), atravesando, en cada uno de estos dos movimientos, el mismo espacio en el mismo lapso de tiempo, y recorriendo en sentido inverso, claro está, la misma serie de velocidades. Ahora bien, las dos series son visiblemente complementarias: si sumamos las velocidades que, en un instante *n* después del comienzo del movimiento, tendrán el cuerpo ascendente y el cuerpo descendente, obtendremos siempre el mismo número, igual, como es evidente, a la velocidad *máxima*. Así, pues, en su movimiento total el móvil ha recorrido tanto espacio como hubiera recorrido moviéndose durante el mismo tiempo a la velocidad *máxima*. Pero como ha efectuado un movimiento doble (ida y vuelta), cada una de esas partes será la mitad del movimiento total, es decir, la mitad del movimiento ejecutado (y, por lo tanto, del espacio atravesado) por el móvil moviéndose durante el mismo lapso de tiempo a la velocidad *máxima*. Cf. *Dialogo*, p. 254.

[165] *Dialogo*, pp. 255 ss.

FK, GL, etc. Ahora bien, como la aceleración se produce de manera continua de un momento a otro, y no a saltos, de una parte del tiempo a otra, y puesto que el término A se considera como el momento *mínimo* de la velocidad, es decir, como el estado de reposo y como el primer instante del tiempo subsecuente AD, está claro que, antes de adquirir el grado de velocidad DH, lo que se hace en el tiempo AD, el móvil habrá pasado por una infinidad de grados, cada vez menores, adquiridos en los instantes infinitos que hay en el tiempo DA, y que corresponden a los puntos infinitos que hay en la línea DA; por ello, para representar la infinidad de grados de velocidad que preceden al grado DH, hay que imaginar una infinidad de líneas, cada vez menores, trazadas desde los puntos infinitos de la línea DA, paralelamente a la línea DH, cuya infinidad de líneas representará finalmente la superficie del triángulo ADH. De este modo representaremos todo espacio atravesado por el móvil con un movimiento que, comenzando en el reposo y acelerándose uniformemente, habrá consumido y se habrá servido de infinidad de grados de velocidad creciente, conforme a las líneas infinitas que, comenzando en el punto A, están supuestamente trazadas en paralela a la línea HD y a las líneas IE, KF, LG, BC; y el movimiento podrá continuarse tanto como se desee. Bien; completemos ahora el paralelogramo AMBC y prolonguemos hasta su lado BM no sólo las paralelas trazadas en el triángulo sino la infinidad de las que uno imagina trazadas desde todos los puntos del lado AC. Entonces, así como la [línea] BC será la mayor de las [líneas] infinitas del triángulo y representará el mayor grado de velocidad adquirido por el móvil en el movimiento acelerado, y toda la superficie del triángulo será la masa y la suma de todas las velocidades a las que en el tiempo AC atravesará tal espacio, así también el paralelogramo representará una masa y un conjunto de otros tantos grados de velocidad, pero cada uno igual a la velocidad *máxima* BC; y esta masa de velocidades será el doble de la masa de las velocidades crecientes del triángulo, del mismo modo que el paralelogramo es el doble del triángulo; así, si el móvil que al caer ha empleado los grados de velocidad acelerada conforme al triángulo ABC ha atravesado en un cierto tiempo ese espacio, es verosímil y probable que, sirviéndose de la velocidad uniforme que corresponde al paralelogramo, atraviese en el mismo tiempo y con movimiento uniforme un espacio doble del que fue atravesado por él en su movimiento acelerado.»

No hay duda de que es un poco sorprendente ver a Galileo calificar de «verosímil» y «probable» la conclusión de su razo-

namiento. Pero las respuestas que pone en boca de los otros dos interlocutores, Sagredo y Simplicio, creemos que explican el sentido de esta expresión. En efecto, Sagredo[166] protesta: «La demostración galileana es una demostración matemática perfecta». Y el aristotélico Simplicio[167] es del mismo parecer: «Indudablemente —dice—, pero el rigor matemático no sirve de nada en las ciencias de la naturaleza». Ahora bien, ese es —y volveremos más tarde sobre esta cuestión, tratándola con toda la amplitud que exige— el principal problema de la ciencia galileana: el problema del derecho a la matematización de lo real[168]. Pues Simplicio —es decir, Aristóteles— no está del todo equivocado. Lo real es complejo; no se acomoda a los simples esquemas de la geometría, o incluso de la cinemática. Los cuerpos reales que caen en el espacio real son muy distintos del cuerpo abstracto en el espacio geométrico. Y Galileo lo sabe muy bien. Por eso —puesto que se trata de cuerpos *reales*— dice que es «probable» que se conduzcan según la ley de la cinemática que ha deducido.

En los *Discursos*, la situación no es exactamente la misma. Es verdad que la finalidad aquí perseguida es, más aún que en el *Diálogo*, el descubrimiento de las leyes reales del mundo real. Mas este estudio comporta en adelante, conscientemente, dos momentos, dos etapas: el estudio puramente geométrico del caso «abstracto» o «simple», y su confrontación con el caso concreto. El movimiento uniformemente acelerado cuyos «accidentes» estudia Galileo no es concebido, de buenas a primeras, como un movimiento real de un cuerpo real sobre la tierra; es el movimiento de un cuerpo «abstracto», arquimediano, en un espacio geométrico. Por ello el razonamiento no es simplemente probable; su conclusión se da como *demostrada*. Por lo demás, he aquí el razonamiento[169]:

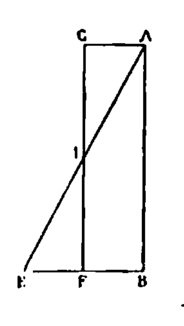
«El tiempo en el cual un espacio dado es atravesado, con un movimiento uniformemente acelerado, por un móvil que parte del reposo es igual al tiempo en el cual el mismo espacio sería

---

[166] *Dialogo*, p. 256.
[167] *Ibid.*, p. 256.
[168] Véanse *infra*, pp. 264 ss.
[169] *Discorsi*, III, l. II. *Teorema*, I, *prop.* 1, p. 208. Nada más curioso que las figuras con las que acompaña Galileo su demostración. Parece tener conciencia de lo poco natural que es su manera de representar el espacio recorrido, la trayectoria del movimiento, es decir, una *línea*, por una *superficie*, y lo fácilmente que este modo de representación puede conducirnos al error de la geometrización a ultranza, error que en otro tiempo él mismo cometió. Sería preciso representar la trayectoria igualmente por una línea. Pero Galileo no sabe cómo hacerlo. Por eso se limita a trazar una al lado del dibujo, sin relación alguna con éste.

atravesado por el mismo móvil que se moviera con un movimiento uniforme y cuya velocidad fuera el grado medio entre los grados máximo y mínimo de dicho movimiento uniformemente acelerado.

»Supongamos que la extensión AB representa el tiempo en el cual el espacio CD es atravesado por el móvil (que se mueve) con un movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo, y que el grado último y *máximo* de la velocidad acrecentada en los instantes del tiempo AB está representado por EB, erigida de cualquier modo sobre AB; reunidos [los puntos] A y E, todas las líneas trazadas paralelamente a EB desde todos los puntos de AE representarán los grados de velocidad creciente después del instante A. Luego, dividida la línea BE en mitades por F, y las líneas FG, AG llevadas paralelamente a las BA y BF respectivamente, se obtiene el paralelogramo AGFB igual al triángulo AEB, paralelogramo que, por su lado GF divide en I la línea AE en dos mitades. Si las paralelas del triánguo AEB fueran extendidas hasta IG, tendríamos el *aggregatum* de todas las paralelas contenidas en el cuadrilátero igual al *aggregatum* comprendido en el triángulo AEB; pues las que están en el triángulo IEF son iguales a las que están contenidas en el triángulo GIA; en cuanto a las que están en el trapecio AIFB, son comunes a ambos. Ahora bien, como a todos y cada uno de los instantes del tiempo AB corresponden todos y cada uno de los puntos de la línea AB, y como las paralelas trazadas a partir de estos puntos, comprendidas en el triángulo AEB, representan los grados crecientes de la velocidad acelerada, mientras que las líneas contenidas en el paralelogramo representan similarmente otros tantos grados de velocidad no creciente sino igual [uniforme], está claro que en el movimiento acelerado según las paralelas crecientes del triángulo AEB faltan tantos momentos de velocidad como en el movimiento uniforme conforme a las paralelas del paralelogramo GB. En efecto, los momentos que faltan en la primera mitad del movimiento acelerado (a saber, los momentos representados por las paralelas del triángulo AGI) están compensados por los momentos representados por las paralelas del triángulo IEF. Está, pues, claro, que los espacios atravesados en el mismo tiempo por los dos móviles, uno de los cuales se mueve con movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo y el otro con un movimiento



uniforme, con un momento igual a la mitad del momento de la velocidad *máxima* del movimiento acelerado, serán iguales. L.Q.Q.D.»

Como se ve, la demostración de los *Discursos* emplea las mismas nociones y mismos métodos que la del *Diálogo:* momento, velocidad instantánea, suma o agregado de momentos o de velocidades. Sin embargo, es más directa, más franca: el movimiento ya no está subdividido en fragmentos, sino que en cierto modo es tomado en bloque. Por ello para el cálculo del espacio recorrido no se utiliza la noción del movimiento posible, del movimiento uniforme que el móvil habría podido efectuar después del fin de su movimiento acelerado; el movimiento acelerado o, más exactamente, la suma de sus velocidades o momentos, es directamente igualada a la del movimiento uniforme cuya velocidad es la mitad de la velocidad *máxima* alcanzada por el movimiento acelerado. El proceder así tiene, quizá, una ventaja. Pero ésta resulta en buena parte contrarrestada por el hecho de que, aún más que en la demostración del *Diálogo*, el razonamiento galileano se aplica a un movimiento terminado y detenido. Sin duda, el procedimiento está concebido de forma absolutamente general y puede aplicarse a todos los movimientos acelerados, con tal de que lo sean uniformemente, cualquiera que sea su extensión y duración. Pero no los concibe sino terminados y lo que le falta a esta demostración galileana es precisamente mostrar la «afinidad suprema del movimiento y del tiempo», el papel preponderante del tiempo. Es la razón por la que a este primer teorema (el único demostrado en el *Diálogo)* los *Discursos* le añaden un segundo [170]:

«*Si un móvil partiendo del reposo desciende con un movimiento uniformemente acelerado, los espacios por él recorridos en cualesquiera tiempos están entre sí en proporción doble de los tiempos, es decir, como los cuadrados de los tiempos.*

»Supongamos que el flujo del tiempo, a partir de un instante cualquiera A, está representado por la extensión AB, de la cual se toman dos tiempos cualesquiera AD y BE; que HI es la línea por la que el móvil, a partir del punto H, tomado como comienzo del movimiento, desciende con movimiento uniformemente acelerado; HL, el espacio atravesado en el primer tiempo AD y HM el espacio por el cual descenderá en el tiempo AE; afirmo que el espacio HL al espacio HM tiene proporción doble de la que poseerán los cuadrados EA, AD. Si se traza la línea AC formando un ángulo cualquiera con AB, y de los puntos D,

[170] *Discorsi*, III, l. II, *Teorema*, I, *prop.* 2, p. 209.

E las paralelas DO, EP: de éstas, DO representará el grado *máximo* de velocidad alcanzado en el instante E del tiempo BE. Pues bien, como se ha demostrado más arriba, en lo que concierne a los espacios recorridos, que los espacios, uno de los cuales es atravesado por el móvil que se mueve con un movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo, y el otro, en el mismo tiempo, por un móvil que se mueve con movimiento uniforme con una velocidad igual a la mitad de la velocidad *máxima* alcanzada en el movimiento acelerado, son iguales, es evidente que los espacios MH, LH son los mismos que los que serían atravesados por movimientos uniformes cuyas velocidades fueran como las mitades de PE, OD, en los tiempos EA, DA. Así pues, si se demostrara que los espacios MH, LH están en proporción doble de los tiempos EA, DA, nuestro teorema estaría demostrado. Ahora bien, en la proposición cuatro del libro I se ha demostrado que los espacios recorridos por los móviles que se mueven a una velocidad uniforme tienen entre sí una proporción compuesta de las proporciones de velocidad y tiempo; *pero aquí la proporción de las velocidades es la misma que la proporción de los tiempos* (efectivamente, la proporción de la mitad de PE a la mitad de OD, o de la entera PE a la entera OD es también la de AE a AD). Luego la proporción de los espacios atravesados es doble de la proporción de los tiempos.»

La proporción de los espacios es doble de la de los tiempos. He aquí, al fin, una fórmula que nos da de inmediato los espacios recorridos en función del tiempo transcurrido y que, de algún modo, sigue al movimiento sin detenerlo; y que, además, nos permitirá formular *un corolario*, que para Galileo representa su mayor victoria intelectual, porque somete al movimiento, y por consiguiente al tiempo, a la ley del número entero.

«De donde se deduce que si se tomara desde el primer instante o comienzo del movimiento un número cualquiera de tiempos iguales, tales como AD, DE, EF, FG, tiempos en los cuales serían atravesados los espacios HL, LM, MN, NI, estos espacios serían entre sí como los números impares *ab unitate*, a saber, como 1, 3, 5, 7, pues tal es la proporción de los excedentes de los cuadrados de las líneas que se exceden igualmente y cuyo exceso es igual a la menor; dicho de otra forma, de los cuadrados que se siguen *ab unitate*. Así pues, el grado de velo-

cidad aumenta en tiempos iguales según la serie de los números simples, y los espacios atravesados en los mismos tiempos reciben incrementos de acuerdo a la serie de los números impares *ab unitate*»[171].

La deducción de los accidentes del movimiento uniformemente acelerado es cosa hecha. Pero... ¿es verdad que «esta es la aceleración que utiliza la naturaleza en la caída de los graves»? Permítasenos dudarlo. Y el aristotélico que plantea esta duda pide por lo menos que se le «indique uno de esos experimentos que, según se ha dicho, son numerosos, y que, en diversos casos, concuerdan con las conclusiones demostradas»[172].

«Petición bien razonable —estima Galileo— y conforme a la costumbre y a las conveniencias de las ciencias, que aplican las demostraciones matemáticas a conclusiones que conciernen a la naturaleza (es el caso, por ejemplo, de la perspectiva, de la astronomía, de la mecánica, de la música, etc.); los autores exigen, pues, de la concordancia con la experiencia la confirmación de sus principios, que son el fundamento de toda la construcción ulterior...»[173].

El acuerdo entre Galileo y el aristotélico parece ser completo. Pero, en realidad, las mismas palabras encierran un significado profundamente diferente. Lo que el empirismo aristotélico exige son «experiencias» que puedan servir de base y fundamento a la teoría; lo que le ofrece la epistemología galileana, apriorística y experimentalista a la vez (se podría incluso decir: lo uno por lo otro), son experimentos construidos a partir de una teoría, y cuyo papel es confirmar o invalidar la aplicación a la realidad de leyes deducidas de principios cuyo fundamento está en otra parte.

Por eso el «experimento» que nos relata Galileo —esta vez experiencia real— sería perfectamente incapaz de llevar el peso de la física clásica, peso con el que los historiadores de la ciencia se obstinan en abrumarla.

El experimento que establece Galileo está maravillosamente imaginado; la idea de sustituir la caída libre por la caída en un plano inclinado es verdaderamente genial. Pero es preciso darse cuenta de que la ejecución no está a la altura de la idea.

En efecto[174], helo aquí: «En el espesor de una regla, o sea, de una tabla de madera de unos doce codos de longitud, medio

---

[171] *Ibid.*, p. 210, cf. *infra*, pp. 276 ss.
[172] *Ibid.*, p. 212.
[173] *Ibid.*, p. 212.
[174] *Ibid.*, pp. 212 ss.

codo de anchura y tres dedos de espesor, se abrió un canal de poco más de un dedo de ancho. Se trazó muy recto y, para que estuviera bien pulido y liso, se recubrió interiormente con una hoja de pergamino lo más lustrosa posible. Se hizo descender por el canal una bola de bronce muy duro, bien redonda y pulida. La regla, construida como acabamos de indicar, tenía una de sus extremidades elevada a un codo, o a dos, a discreción, sobre el plano horizontal. Como se ha dicho, se dejó descender la bola por el canal y se anotó, de la manera que voy a decir, la duración de todo el recorrido; se repitió numerosas veces el ensayo para asegurarse bien del valor de esta duración, y en la repetición aludida jamás se encontró diferencia superior a un décimo de pulsación. Establecida y hecha con precisión esta operación, hicimos descender a la misma bola sólo por la cuarta parte de la longitud del canal; la duración de la caída medida resultó siempre rigurosamente igual a la mitad de la otra». Menos mal que Galileo nos dice que «habiendo repetido cien veces el experimento, los espacios recorridos resultaron estar siempre en la proporción de los cuadrados de los tiempos, fuera cual fuese la inclinación del plano, es decir del canal por el que bajaba la bola», y que «las duraciones de la caída en los planos más o menos inclinados estaban en la misma proporción que les asignaban las demostraciones». Menos mal, pues de otra manera nadie habría podido suponer una concordancia tan rigurosa de la experiencia con las previsiones; más aún: pese a la aserción de Galileo, nos sentimos tentados de dudarlo, y esto por la simple razón de que tal *rigurosa* concordancia es *rigurosamente imposible.* En realidad, se explica quizá por la manera en que Galileo había medido los tiempos [175]: «En lo que respecta a la medida del tiempo, un gran cubo lleno de agua estaba suspendido en el aire; un pequeño orificio horadado en el fondo dejaba escapar un chorrito de agua que se vertía en un vasito durante todo el tiempo del descenso de la bola a lo largo del canal o de sus partes; las cantidades de agua así recogidas eran pesadas en una balanza de gran precisión; las diferencias y proporciones de sus pesos daban las diferencias y las proporciones de los tiempos, y esto con tal exactitud que como dije antes, esas operaciones, muchas veces repetidas, no arrojaron una notable diferencia».

¡Cómo se comprende al Descartes que «niega» [176] todos los experimentos galileanos! ¡Cuánta razón tenía! Pues los contem-

---

[175] *Ibid.*, p. 213.

[176] *Carta a Mersenne,* abril de 1634 (A. T., vol. I, p. 287, A. M., vol. I, página 254).

poráneos de Galileo encontraron que todos sus experimentos o al menos todos sus experimentos reales y traducibles en una medida y en una cifra eran falsos [177].

Y no obstante, es Galileo quien está en lo cierto. Acabamos de ver que de ningún modo busca en los datos experimentales el fundamento de su teoría; sabe bien que es imposible. También sabe que la experiencia —incluso la experimentación— hecha en condicones concretas —en el aire y no en el vacío, sobre una tabla lisa y no sobre un plano geométrico, etc.— *no puede* dar los resultados previstos por el análisis del caso abstracto. Por eso no lo exige. El caso abstracto es un caso supuesto. Y la experiencia debe confirmar que esa suposición es buena. Dentro de las posibilidades de sus medios. O, mejor, dentro de las posibilidades de nuestros medios. Ya que, como se ha dicho recientemente: «¿Para qué buscar el quinto decimal, cuando el segundo ya no tienen ningún sentido?» [178].

CONCLUSION

El proceder del razonamiento galileano es, como puede apreciarse, fiel a sí mismo. En el *Diálogo* y en los *Discursos* es el mismo que en la carta a Paolo Sarpi que citamos al principio de este estudio. Aquí, como allá, es —si se puede decir— regresivo, «resolutivo», analítico en el sentido más profundo de este término. Del hecho, de los datos experimentales, de los «sínto-

[177] Mersenne, *L'Harmonie universelle*, I, p. 112: «Corolario I. Dudo de que el señor Galileo haya hecho los experimentos de las caídas en el plano, puesto que no habla de ellos y puesto que la proporción que da se contradice frecuentemente con la experiencia: y deseo que otros experimenten lo mismo en planos diferentes, con todas las precauciones de que puedan rodearse, a fin de que vean si sus experimentos responden a los nuestros. Corolario II. Aquellos que han visto nuestros experimentos y que en ellos nos han ayudado saben que no se puede proceder con mayor exactitud, ya sea para el plano que está bien pulido y bien recto, y que obliga al móvil a descender recto, o para la redondez y la pesantez de las balas de cañón, y para las caídas; de donde se puede concluir que la experiencia no es capaz de engendrar una ciencia, y que no hay que confiar demasiado en el solo razonamiento, puesto que no responde siempre a la verdad de las apariencias, de la que frecuentemente se aleja: lo que no impedirá que yo hable del plano igualmente inclinado, tal como debe ser a fin de que los cuerpos pesados lo presionen y pesen igualmente en cada uno de sus puntos.» Cf. nuestro artículo «Galilée et l'expérience de Pise», en *Annales de l'Université de Paris*. 1936 [En *Estudios de historia del pensamiento científico*, Madrid, Siglo XXI, 1977, pp. 196-205].

[178] Cf. R. Poirier, *Remarques sur la probabilité des inductions*, París, 1931.

mas» del movimiento acelerado, Galileo se remonta —o desciende— a su definición esencial. Aquí, como allá, busca el principio, es decir, la *esencia* de ese movimiento que, traducido a definición, permitirá deducir y demostrar sus «accidentes» y «síntomas». Y la comparación de los dos intentos de deducción —el que fracasa y el que triunfa— aclarada por el análisis al que hemos procedido de los textos cartesianos nos permite comprender las razones del fracaso y las del triunfo.

El pensamiento o, si se prefiere, la actitud mental de Galileo difiere sensiblemente de la de Descartes. No es puramente matemática, es *físico-matemática.* Galileo no emite hipótesis sobre los modos posibles del movimento acelerado: lo que busca es el modo real, el modo que emplea la naturaleza. Galileo no parte, como Descartes, de un mecanismo causal, a fin de traducirlo luego a una relación puramente geométrica; o, incluso, de sustituirlo por tal relación. Galileo parte de la idea —preconcebida sin duda, pero que constituye la base de su filosofía de la naturaleza— de que las leyes de la naturaleza son leyes matemáticas. *Lo real encarna lo matemático.* Por eso no hay en Galileo separación entre la experiencia y la teoría; la teoría, la fórmula, no se aplica a los fenómenos del exterior, no «salva» esos fenómenos, expresa su esencia. La naturaleza no responde más que a las preguntas formuladas en lenguaje matemático, porque la naturaleza es el reino de la medida y del orden. Y si la experiencia guía «como de la mano» al razonamiento es porque, en la experiencia bien realizada, o sea en la pregunta bien planteada, la naturaleza revela su profunda esencia que, por lo demás, sólo el intelecto es capaz de captar.

Galileo nos dice que parte de la experiencia; pero esta «experiencia» no es la simple experiencia de los sentidos; ese dato al cual debe ajustarse o con el que debe concordar la definición que él busca no es otra cosa que las dos leyes descriptivas —las leyes de los síntomas— de la caída, que ya están en su poder.

Galileo nos dice también que obra guiado por la idea de la sencillez. No sólo la sencillez formal: se trata de otra cosa; de algo análogo, sin duda, pero, no obstante, diferente: una sencillez real, podríamos decir, una conformidad interna con la naturaleza esencial del fenómeno estudiado.

Este fenómeno real es el movimiento, y Galileo no sabe cómo se produce ni cómo —bajo la influencia de qué fuerza— se produce la aceleración. En efecto no podrá, como no pudo Descartes, sacar provecho de la obra de Gilbert y hacer uso de una noción —la de la atracción— oscura, noción que no sabe matematizar. Sea como sea, se trata de un fenómeno real, de

un fenómeno que se produce realmente en la naturaleza, es decir de algo que se produce *en el tiempo*[179].

En esta intuición, en la consideración contanste y sostenida del carácter *real* del fenómeno, es donde estriba la razón que permite a Galileo evitar el error de Descartes; y el suyo propio. El movimiento es, ante todo, un fenómeno temporal. Sucede *en el tiempo*. Así, Galileo tratará de definir en función del tiempo la esencia del movimiento acelerado, y no ya en función del espacio recorrido; el espacio no es más que una resultante, un accidente, un síntoma de una realidad esencialmente temporal.

Cierto, es imposible *imaginar* el tiempo. Y toda representación gráfica correrá siempre el riesgo de caer en la geometrización a ultranza. Pero el esfuerzo sostenido del intelecto, del pensamiento, al *concebir* y *comprender* el carácter continuo del tiempo, podrá sin peligro simbolizarlo por el espacio. El movimiento uniformemente acelerado será, pues, movimiento uniformemente acelerado con respecto al *tiempo*.

Así, la noción de tiempo desempeña para el pensamiento de Galileo, y dentro de él, el papel que desempeñaba la de causalidad real para los pensamientos de Beeckman y Descartes y dentro de ellos. Pero, justamente, el hecho de que pudiera —o supiera— prescindir de toda representación concreta del modo en que se produce el movimiento, de la aceleración (fuerza, atracción, etc.), le permitió guardar, por así decirlo, el equilibrio en esa frontera —estrecha como el filo de una navaja— donde en el hecho del movimiento lo real coincide con lo matemático.

Galileo triunfó allí donde fracasó Descartes. Supo comprender y mantener en y por el pensamiento la paradójica noción del movimiento, hacer de ella la base de sus razonamientos. Descartes no lo logró, al menos al principio.

¿Le podemos culpar de eso? ¿No hay en esa resistencia cartesiana un indicio de algo importante y profundo? Nosotros así lo creemos: la noción clásica de movimiento (la misma que Descartes recogerá más tarde, permitiéndole formular el principio de inercia y consiguiendo, por así decirlo, el desquite sobre Galileo) no es tan clara y distinta como se ha dicho, como él ha dicho. Un cambio que es un estado... lo Mismo que es lo Otro... sólo por «fuerza» es posible hacer coincidir estos conceptos, como antaño lo hiciera el demiurgo de Platón.

---

[179] En cambio, como hemos visto, Descartes triunfó allí donde fracasó Galileo; pues fue Descartes, y no Galileo, quien formuló, expresamente al menos, el *principio de la inercia*, mientras que Galileo no supo nunca qué hacer con este hecho. Véase *infra*, pp. 263 ss.

3. GALILEO Y LA LEY DE LA INERCIA

INTRODUCCION

El logro más brillante de Descartes-físico es, sin duda, haber proporcionado una fórmula «clara y distinta» del principio de inercia; y haberla puesto en su lugar.

Seguramente se nos podría objetar que en la época en que lo hizo, en la fecha en que aparecieron los *Principios* —doce años después del *Diálogo* y seis años después de los *Discursos* de Galileo— no era muy meritorio ni muy difícil. Ciertamente, en 1644 la ley de la inercia no se presentaba ya como una concepción inaudita y nueva: muy al contrario, gracias a los trabajos y escritos de Gassendi, Torricelli y Cavalieri comenzaba a ser considerada como una verdad universalmente aceptada. Además, podría añadirse que aunque el propio Galileo no la formuló *expressis verbis* o por lo menos no la planteó como ley fundamental del movimiento, su física estaba tan impregnada de esa ley que un Baliani —talento que de ningún modo es comparable a los que acabamos de citar— pudo, con toda naturalidad, sacarla de ella[1].

Podría invocarse el juicio de Newton, quien atribuye todo el mérito del descubrimiento a Galileo, silenciando por entero a Descartes; y si, para salvaguardar los derechos de éste, se esgrimiera el hecho de que la ley de la inercia fue formulada por Descartes ya en su *Mundo*, podría respondérsenos, en fin, que, como hemos dicho ya, es a Beeckman a quien Descartes debe el principio de la conservación del movimiento[2].

No cabe duda de que todo esto es muy justo. Y de ninguna forma queremos reducir en lo más mínimo los méritos de aquellos que como Descartes y Galileo sentaron las bases de la ciencia clásica. Sobre todo, no tenemos el menor deseo de disminuir en lo más mínimo el papel y los méritos de Galileo: muy al contrario, como se verá a continuación[3]. Y, sin embargo,

[1] Cf. E. Wohlwill, «Die Entdeckung der Beharrungsgesetzes», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., vol. XV, pp. 379 ss.

[2] Véanse *supra*, pp. 98 ss.

[3] Creíamos haber expresado la admiración que sentimos por el genio

cuando tras los textos sutilmente reticentes y prudentes de Galileo, tras las confusas explicaciones de Gassendi, tras las fórmulas de admirable claridad pero de sequedad totalmente matemática de Torricelli, se llega a las frases lapidarias de Descartes, nos parece que no es posible dejar de aceptar la evidencia de un progreso decisivo en la conciencia y en la claridad del pensamiento. Hasta tal punto que, para definir la relación Galileo-Descartes se podría, *mutatis mutandis*, emplear la tan conocida frase de Pascal[4] sobre la diferencia que existe «entre escribir una palabra al azar, sin una reflexión más amplia y más extensa, y percibir en esa palabra toda una serie admirable de consecuencias... y hacer de ella un principio firme y sostenido de toda una física...».

La ley de la inercia es una ley sumamente sencilla: se limita a afirmar que un cuerpo abandonado a sí mismo persiste en su *estado* de inmovilidad o de movimiento hasta que algo modifica ese estado[5]. Al mismo tiempo es una ley de capital importancia: en efecto, implica una concepción del movimiento que determina la interpretación general de la naturaleza, implica una concepción completamente nueva de la misma realidad física. Esta nueva concepción proclama al movimiento un *estado*, y al mismo tiempo que lo opone en forma absolutamente rígida al reposo, sitúa a ambos en el mismo plano ontológico[6]. Implícitamente admite que el cuerpo —móvil o inmóvil— es totalmente *indiferente* frente a uno u otro de estos dos *estados* opuestos, y que el hecho de estar en uno o en otro no le afecta de ninguna manera; es decir, que ni uno ni otro de esos *estados* provoca en los cuerpos, del que son *estados*, modificación o

---

de Galileo con claridad suficiente para evitar todo error; al menos para el lector imparcial. Por desgracia, están los otros... Por eso nos vemos incluidos por A. Mieli en la cohorte de los «detractores» y «enemigos» de Galileo; cf. A. Mieli: «Il tricentenario dei 'Discorsi et dimostrazioni matematiche' di Galileo Galilei», en *Archeion*, vol. XXI, n. 3, Roma, 1938.

[4] Pascal, *Pensées et opuscules*, ed. Brunschvicg, París, 1907, p. 193.

[5] Lo que quiere decir que el cuerpo abandonado a sí mismo permanece inmóvil o se mueve indefinidamente con movimiento *rectilíneo* y *uniforme*, en otros términos, que conserva su velocidad y dirección. Véase Laplace, *Exposition du système du monde, Oeuvres*, vol. VI, l. III, c. 2, pp. 155 ss., Lagrange, *Mécanique analytique*, París, 1853, pp. 308 ss.

[6] Si el movimiento puede ser concebido como algo que perdura eternamente, como el reposo sin modificación y sin causa (motor) es precisamente porque el reposo y el movimiento poseen, para la ciencia clásica, el mismo *status* ontológico, el de un estado. Empleando la terminología medieval, para Galileo y Descartes el movimiento cesa de ser *forma fluens* para convertirse en *forma stans*. Véanse p. 122 y pp. 307 ss.

cambio alguno, y, en otras palabras, que el paso de uno de estos *estados* al *estado* opuesto no se traduce, para el móvil, *en absolutamente nada.* Esa concepción implica, pues, que es imposible atribuir a un cuerpo dado el estado de reposo (o de movimiento) a no ser *con respecto a otro cuerpo* considerado en movimiento (o en reposo), y que uno u otro de esos dos *estados* puede ser atribuido a uno —u otro— de estos cuerpos de manera pura y completamente arbitraria [7]. Así, el movimiento es concebido como *estado;* pero no un estado como los demás: es un *estado-relación* [8].

La concepción clásica del movimiento no sólo implica la indiferencia del móvil con respecto al movimiento, sino también la de un movimiento con respecto a otro: dos movimientos no se estorban jamás [9]. El principio de inercia proclama la persistencia eterna de esta curiosa entidad, verdadera relación sustancial, entidad no menos paradójica que las famosas cualidades sustanciales de la física medieval.

Sin embargo, como acabamos de decir, el principio de inercia no afirma la persistencia eterna de *todo* movimiento, sino sólo del movimiento *uniforme en línea recta.* El principio no es válido para el movimiento circular. Tampoco es válido para el movimiento de rotación [10]. Se podría decir que mientras que la física medieval y antigua oponía el movimiento circular, natural, al movimiento en línea recta, violento, la física clásica invierte la relación: para ella, el movimiento rectilíneo se ha vuelto natural, y es el movimiento circular el que ahora es considerado como violento [11]. Por lo demás, esto no basta: para la física clásica no hay movimiento *natural;* tampoco hay, estrictamente hablando, movimiento *violento:* ningún movimento resulta de la «naturaleza» del móvil, como tampoco de tal «naturaleza» puede provenir el reposo. De esto se desprende, con toda

[7] Claro está, mientras uno se limite a considerar el movimiento en cuanto tal y no haga intervenir las fuerzas. En otros términos, mientras se haga cinemática o foronomía pura, y no dinámica.

[8] En efecto, lo que se conserva es la *velocidad* y la *dirección.*

[9] Para la física aristotélica, así como para la del *impetus,* dos movimientos se estorban *siempre.*

[10] Pedimos disculpas por insistir en algo que es, o debería ser, evidente. Por desgracia, el desconocimiento de la distinción radical, o si se prefiere, de la oposición entre la afirmación de la persistencia del movimiento circular y la del movimiento rectilíneo —en efecto, las dos proposiciones son incompatibles— ha viciado la mayoría de los trabajos —incluso de los mejores— consagrados al estudio de los orígenes del principio de inercia.

[11] De nuevo pedimos disculpas por recordar que, para la física clásica, el movimiento circular no es un movimiento uniforme, sino un movimiento acelerado.

evidencia, que jamás se «violenta» la naturaleza del móvil: éste es, acabamos de decirlo, totalmente indiferente al estado en el cual se le pone; lo que, de otra parte, implica que sólo es por «fuerza» —si ya no es por «violencia»— como se puede hacer pasar al móvil de un *estado* a otro: puesto que todo movimiento —o, al menos, toda puesta en movimiento—, como todo reposo —o, al menos, toda detención del movimiento, toda aceleración, como toda retardación— implica una causa o, más exactamente, una *fuerza* [12], que necesariamente ha de concebirse como exterior y ajena al móvil que, en sí, es *inerte* [13].

Hoy, la concepción clásica —galileana, cartesiana, newtoniana— del movimiento no sólo nos parece evidente, sino incluso «natural». Y, sin embargo, esa «evidencia» es todavía muy reciente: apenas tiene tres siglos. Y es a Descartes y a Galileo a quienes se la debemos.

El principio de inercia no salió ya elaborado del pensamiento de Descartes o de Galileo como Atenea de la cabeza de Zeus. La formación del nuevo concepto de movimiento —que implica un nuevo concepto de la realidad física— del que el principio de inercia es, a la vez, expresión y sostén, fue precisada por un largo y penoso trabajo mental. La revolución galileana y cartesiana —que no deja de ser una revolución— requirió una larga preparación. Es la historia de esta preparación la que aquí nos proponemos estudiar [14], historia que constituye el indispensable prefacio para la comprensión de la obra galileana, historia en la que se ve a la mente humana abordar con obstinación los mismos problemas, toparse sin cesar con las mismas objeciones, con las mismas dificultades, y forjar, lenta y penosamente, el instrumento que le permitirá superarlas.

La física clásica estudia, ante todo, el movimiento de los

---

[12] En la ciencia clásica, la acción de una fuerza no produce el movimiento sino la aceleración.

[13] El término *inercia*, que para su inventor, Kepler, quiere decir *resistencia natural al movimiento* (cf. *infra*, pp. 174 ss.), para la física clásica significa indiferencia a los estados de movimiento y de reposo, persistencia de dichos estados, resistencia que se opone a todo cambio de un estado por otro.

[14] La historia de la invención del principio de inercia ha sido estudiada más de una vez. Citamos los bellos trabajos de E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vols. XIV y XV; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 8.ª edic., Leipzig, 1921; los conocidos trabajos de P. Duhem, *De l'accélération produite para une force constante*, Congreso Internacional de Filosofía, 2.ª sesión, Ginebra, 1905, y *Etudes sur Léonard de Vinci*, 3 vols., París, 1909-13; en fin, el admirable capítulo consagrado al principio de la inercia por E. Meyerson en *Identité et réalité*, 3.ª edic., París, 1926

graves, o sea primeramente el de los cuerpos pesantes que nos rodean. Por eso, el movimiento de ideas que condujo al descubrimiento de la ley de la inercia procede del esfuerzo por explicar hechos de la experiencia cotidiana: el hecho de la caída, el hecho del lanzamiento, etc. Pero, cosa curiosa, no procede directamente de él. Ni principalmente. La nueva física no nace sólo en la tierra; nace, asimismo, en el cielo. Y es en el cielo donde encuentra su consumación.

Este hecho —el hecho de que la física clásica posea un «prólogo» y un «epílogo» celestes— o, más sobriamente expresado, el hecho de que la física clásica nazca en función de la astronomía y durante toda su historia siga siendo solidaria de ella, está lleno de significado y de consecuencias. Expresa la sustitución de la noción o concepto del Cosmos —unidad cerrada en un orden jerárquico— por la del Universo —conjunto abierto ligado por la unidad de sus leyes— [15]; implica la imposibilidad de fundamentar y elaborar una mecánica terrestre sin acabar, o al menos sin fundamentar y elaborar al propio tiempo una mecánica celeste; explica el fracaso parcial de Galileo y Descartes.

I. EL PROBLEMA FISICO DEL COPERNICANISMO

Vayamos ahora a los hechos. Acabamos de decir que la nueva física se elabora en función de la astronomía; precisemos más: en función de los problemas planteados por la astronomía copernicana y, especialmente, de la necesidad de responder a los argumentos *físicos* presentados por Aristóteles y Tolomeo contra la posibilidad del movimiento de la tierra.

a) *Copérnico*

Ciertamente, no era difícil responder a los argumentos «geométricos» en favor del geocentrismo. La gente que deduce la inmovilidad de la tierra del hecho de que todo movimiento circular (todo movimiento de rotación) implica un eje o un punto inmóvil alrededor del cual se efectúa, confunde evidentemente

[15] Cf. E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, t. II, fasc. 1, París, 1929, página 95: «Descartes libra a la física de la obsesión del cosmos helénico, es decir, de la imagen de un cierto estado privilegiado de cosas que satisface nuestras necesidades estéticas... No hay estado privilegiado, puesto que todos los estados son equivalentes. En física no hay, pues, lugar para la búsqueda de causas finales y para la consideración de lo mejor.»

geometría y física[16]. Por eso, habiendo demostrado la inanidad de su argumentación, prosigue Copérnico[17]: «Este es el motivo por el que los antiguos filósofos tratan, por algunas otras razones, de forzar a la tierra a quedarse (inmóvil) en medio del mundo; y como causa principal alegan la gravedad y la levedad. En efecto, el elemento de la tierra es el más pesado y todas las cosas pesadas se dirigen hacia ella, precipitándose hacia su interior. Ahora bien, al ser redonda la tierra —hacia la cual y en virtud de su propia naturaleza son llevados los graves, por todas partes y verticalmente—, se encontrarían en el centro de ella si no fueran retenidos en su superficie... Pero parece ser que las cosas que se dirigen hacia el centro lo buscan para reposar en él. Con mayor razón, pues, la tierra estaría en reposo en el centro, y al recibir todo lo que cae, permanecería inmóvil en el centro gracias a su peso. Aquéllos tratan igualmente de probar la misma cosa mediante un razonamiento basado en el movimiento y su naturaleza. En efecto, Aristóteles dice que el movimiento de un cuerpo simple es simple[18]; ahora bien, de los movimientos simples el uno es rectilíneo y el otro circular; y en cuanto a los rectilíneos, el uno es hacia arriba y el otro hacia abajo. Por consiguiente, todo movimiento simple es [dirigido] ya sea hacia el centro, es decir hacia abajo, ya sea desde el centro, es decir hacia ariba, ya sea alrededor del centro, que es el movimiento circular. Dirigirse hacia abajo, es decir, tender hacia el centro, sólo conviene a la tierra y al agua, consideradas como graves; por el contrario, al aire y al fuego que se hallan provistos de levedad les conviene tender hacia arriba y alejarse del centro. Parece conveniente que el movimiento rectilíneo les sea otorgado a los cuatro elementos y, por el contrario, a los cuerpos celestes girar alrededor del centro. Estas son las enseñanzas de Aristóteles.

«Si, por consiguiente —dice Tolomeo de Alejandría—[19], la tierra girara, al menos con una revolución diaria, debería suceder lo contrario de lo que acaba de decirse. En efecto, ese movimiento que en veinticuatro horas atraviesa todo el circuito de la tierra, debería ser extremadamente impetuoso y de una velocidad insuperable. Ahora bien, las cosas movidas por rota-

---

[16] Cf. N. Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium*, libro I, París, 1934; l. I, cap. V, pp. 76 ss.; cap. VI, p. 81.
[17] *Ibid.*, l. I, cap. VII, pp. 85 ss.
[18] Puesto que el movimiento resulta de la naturaleza del cuerpo y es expresión de ésta, desde el momento en que se trata de un cuerpo *simple* sólo puede dar lugar a un movimiento igualmente simple. Véase Aristóteles, *De Coelo*, l. I, c. 2; *Física*, l. II, c. 1, y l. V, 2.
[19] Tolomeo, *Almagesto*, I, 7.

ción violenta parecen ser totalmente incapaces de reunirse, debiendo más bien dispersarse *a menos que alguna fuerza las mantenga unidas*[20]. Y ya hace mucho tiempo —dice— la tierra dispersada habría rebasado el mismo cielo (nada más ridículo): con mayor razón los seres animados, y todas las otras masas separadas que de ningún modo podrían permanecer estables. Además, y por otra parte, las cosas que caen libremente no llegarían tampoco en vertical al lugar que les fue destinado, lugar retirado entre tanto con tal rapidez de debajo de ellas. Y veríamos también a las nubes y a todas las cosas que flotan en el aire dirigirse siempre hacia Occidente.»

Haríamos mal en ignorar el valor de estas objeciones. Claro es que, como hace Copérnico[21], y como después de él lo harán sus partidarios, se puede responder que la gravedad no es otra cosa que la tendencia natural de las partes de un todo a juntarse, y que los «graves» terrestres no tratan en modo alguno de acercarse al centro del mundo para allí «reposar», sino que simplemente se limitan a tender hacia su todo, la tierra. Sin embargo, quedaría por explicar por qué razón tienden hacia el centro de ella, lo que no es fácil; también habría que responder a los argumentos sacados del movimiento rectilíneo de la caída.

Pues bien, a decir verdad, la respuesta de Copérnico a estos últimos es bastante superficial, e incluso verbal.

En efecto, Copérnico no ve la debilidad del argumento «centrífugo». Lo toma en serio y lo trata como a los otros. Por eso la objeción que opone a sus adversarios es la misma. Haciendo extensiva a la tierra la idea admitida para el cielo[22], afirma el carácter *natural* del movimiento circular de aquélla. Pues bien, al ser *natural* este movimiento, por una parte no puede producir los desastrosos efectos de que habla Tolomeo (un movimiento *natural* que destruyera la propia *naturaleza* del móvil sería una *contradictio in adiecto);* por otra parte, al ser *natural* a la *tierra,* anima, naturalmente, a todos los cuerpos de naturaleza y procedencia terrestre, incluso si, o incluso cuando, no están en contacto inmediato con ella: están no obstante *físicamente unidos* a ella.

El aristotélico, estima Copérnico —y sin duda tiene razón— argumenta a partir del sistema de su propia física, y lo admite

---

[20] El subrayado es nuestro.

[21] N. Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium,* l. I, cap. IX, página 101.

[22] El cielo, al girar en virtud de su naturaleza y al estar, además, privado de peso, no se encuentra sujeto a los efectos de la fuerza centrífuga.

como evidente. Con toda naturalidad aplica sus propias categorías y considera como «violento» el movimiento de la tierra. Esa es la premisa no explícita de sus objeciones. Por ello responde Copérnico[23]:

«... Pero si alguien pensara que la Tierra se mueve, diría ciertamente que ese movimiento es natural, y no violento. Ahora bien, las cosas que se hacen conforme a la naturaleza producen efectos contrarios a los que se hacen mediante la violencia. En efecto, las cosas a las cuales se aplica la fuerza, o la violencia, deben ser necesariamente destruidas y no pueden subsistir mucho tiempo; pero las que son hechas por la naturaleza lo son de manera conveniente y permanecen en su mejor disposición. De modo que Tolomeo no tiene necesidad de temer que la tierra y todas las cosas terrestres sean destruidas por la rotación producida por la acción de la naturaleza, acción que es muy distinta de la del arte o de la que puede resultar de la industria humana. Pero ¿por qué no lo teme aún más en lo que concierne al mundo, cuyo movimiento debe ser tanto más rápido cuanto que el cielo es mayor que la tierra? ¿Es que el cielo ha llegado a ser tan grande (inmenso) porque ese movimiento, con vehemencia indecible, lo aleja del centro y debe caer si se detiene?

En otra parte[24] hemos mostrado lo débil que desde el punto de vista del aristotélico resulta esta contra-objeción de Copérnico. Veamos ahora su respuesta al último argumento, aquél que contra el movimiento de la tierra esgrime el movimiento de los cuerpos separados de ella, es decir, el vuelo de los pájaros, el movimiento de las nubes y, finalmente, la caída vertical de los graves. Es el argumento más fuerte del aristotélico. En efecto, desde el punto de vista de su física, el movimiento es un proceso que atañe al móvil, que expresa su naturaleza, que «existe» en el cuerpo que se mueve. En su caída, el grave va de A a B, de un cierto punto, situado sobre la superficie de la tierra, hacia ésta, o más exactamente *hacia su centro.* El grave sigue la línea recta que une esos dos puntos. Si, durante su trayecto, la tierra se pusiera a girar, describiría, con relación a esta línea (la línea que une el punto A con el centro de la tierra) un movimiento del que no participan ni este punto ni esta línea ni el cuerpo que la sigue: el movimiento de la tierra no afecta al cuerpo que está separado de ella. Si debajo de él la tierra se aparta, ¡qué le vamos a hacer! El grave no puede hacer otra cosa que seguir su camino. No puede correr detrás

---

[23] N. Copérnico, *De revolutionibus,* l. I, cap. VIII, pp. 89 ss.

[24] N. Copérnico, *De revolutionibus,* l. I, París, 1934, Introducción, páginas 19 ss.

de la tierra. De ello se deduce que si la tierra estuviera en movimiento, un cuerpo lanzado desde lo alto de una torre jamás podría caer al pie de ésta, como tampoco un cuerpo lanzado verticalmente al aire podría caer de nuevo en el lugar de donde partió. De lo que *a fortiori* se deduce que una bala de cañón que caiga desde lo alto del mástil de un navío no caerá jamás al pie del mástil[25].

He aquí la respuesta de Copérnico[26]:

«Pero ¿qué diremos acerca de las nubes y de las cosas que flotan en el aire, así como de las que caen o que, por el contrario, tienden hacia arriba? Pues, simplemente, que no sólo la tierra, con el elemento acuoso unido a ella, se mueve de este modo (es decir, naturalmente), sino también una parte no despreciable del aire, y todas las cosas que, de la misma manera, tienen relación con la tierra. Ya sea que el aire cercano a la tierra, mezclado con materia terrestre y acuosa, participe de la misma naturaleza que la tierra, ya sea que el movimiento del aire sea un movimiento adquirido, del que participe sin resistencia a consecuencia de la contigüidad y del movimiento perpetuo de la tierra... Por ello, el aire más cercano a la tierra parecerá en reposo, al igual que las cosas en él suspendidas, a menos que, como suele suceder, sean empujadas por el viento o por alguna otra fuerza aquí y allá.

»En cuanto a las cosas que caen o que se elevan, reconoceremos que su movimiento con respecto al mundo debe ser doble, y compuesto, generalmente, del rectilíneo y del circular[27]. Porque las cosas que por su peso son llevadas hacia abajo son terrosas al máximo; ahora bien, es indudable que las partes conservan la misma naturaleza que su todo. Y por la misma razón esto ocurre en aquéllas llevadas hacia arriba por la fuerza ígnea. En efecto, el fuego terrestre está alimentado sobre todo por la materia: por eso se dice que la llama no es otra cosa que humo ardiente...»

La respuesta de Copérnico, muy fuerte si se la considera como una respuesta *ad hominem*, es en sí misma sumamente débil. En efecto, ¿cómo admitir que, si el movimiento circular de Occidente a Oriente es *natural* a todos los cuerpos terrestres, esa tendencia *natural* que los anima (y que explica por qué las

---

[25] Esta concepción nos parece sin duda bastante extraña. Para que deje de serlo es suficiente, sin embargo, con imaginar el movimiento a semejanza de la propagación de una onda.

[26] N. Copérnico, *De revolutionibus*, l. I, cap. VIII, pp. 93 ss.

[27] El movimiento de los cuerpos será, pues, en general, un movimiento mixto, y Copérnico dirá que lo circular se une a lo rectilíneo «como la enfermedad al animal».

nubes, el aire, los pájaros y los cuerpos que caen o que son lanzados al aire siguen el movimiento del globo terrestre y no «se quedan atrás») no les estorba de ninguna manera en sus movimientos de Oriente a Occidente? Los cuerpos graves están animados por un movimiento natural hacia abajo. Por esto es muy difícil imprimirles un movimiento hacia arriba; si los cuerpos terrestres estuvieran animados por un movimiento *natural* hacia la derecha sería prácticamente imposible hacerles ir hacia la izquierda.

Pero por debajo del argumento copernicano hay ya una especie de germen de una nueva concepción que se desarrollará más tarde. El razonamiento de Copérnico aplica a los fenómenos terrestres las leyes de la «mecánica celeste»: de esta forma se abandona implícitamente la división del cosmos en regiones supralunares y sublunares. Por otra parte, el razonamiento copernicano nos propone una explicación del hecho de que los cuerpos no «se queden atrás», del hecho de que el grave, en su caída, siga una línea *vertical para nosotros* y caiga al pie de la torre desde la cual es lanzado: esta explicación la encuentra en el hecho de que los cuerpos *participan en el movimiento de la Tierra*[28].

¿Qué es lo que hay que modificar en el razonamiento copernicano para que de absurdo pase a ser aceptable? No pocas cosas: hay que reemplazar la explicación mítica de la participación de los cuerpos graves en el movimiento de la tierra (participación en la «naturaleza» de la tierra) por una explicación física o, más exactamente, mecánica, es decir, hay que explicitar las ideas subyacentes del razonamiento, y en especial la idea de que para un conjunto de cuerpos *animados por un mismo movimiento,* ese movimiento, en el cual todos toman parte, no cuenta; en otras palabras, hay que lograr la noción de sistema físico, y admitir la relatividad, no sólo *óptica* —como hace Copérnico— sino también *física,* del movimiento. Pero conseguir esto implica abandonar la noción aristotélica de movimiento y sustituirla por otra; lo que a su vez significa abandonar la filosofía aristotélica por otra filosofía. Porque —como lo veremos cada vez más claro en lo sucesivo— de lo que se trata a lo largo de todo este debate no es de un simple problema científico, sino de un problema filosófico.

[28] En virtud de su naturaleza «terrestre», los cuerpos terrestres ejecutan el mismo movimiento circular que la propia tierra. Y ésa es la razón por la que ese movimiento es imperceptible para nosotros, que participamos igualmente en él.

b) *Bruno*

Lograr la noción de sistema físico: tal fue la obra de Bruno. Obra sin duda desigual, tumultuosa y hasta muy confusa; y viciada —desde el punto de vista científico, que es aquí el nuestro— por el profundo animismo de su pensamiento. Y, sin embargo, ese pensamiento oscuro y confuso ha desempeñado un gran papel en la historia de la ciencia[29]. Papel positivo, pues debido a una intuición genial Bruno comprendió el *infinitismo* de la nueva astronomía. Por ello, con audacia insuperable, opuso a la visión medieval del cosmos ordenado y finito su propia intuición del Universo infinito. Papel negativo, también, porque al unir sus tesis metafísicas y cosmológicas (pluralidad de los mundos e incluso de los mundos habitados) a las de la astronomía, y, por lo tanto, a las de la nueva física, hizo a éstas —a los ojos de la Iglesia— solidarias de aquéllas y, de este modo fue la causa oculta, pero real, de la condena de Copérnico. Y de Galileo[30].

En su defensa de la astronomía copernicana, Bruno encuentra las objeciones físicas con las que ya había tropezado Copérnico. Y para responder a ellas desarrolla, ni que decir tiene, las ideas esbozadas por su maestro. Pero al desarrollarlas, las transforma, sirviéndose de una manera notablemente inteligente de la física del *impetus*.

Contra la posibilidad del movimiento de la tierra el aristotélico invoca los argumentos de los vientos, las nubes, los pájaros. Y Bruno le responde que al encontrarse el aire que circunda la tierra llevado por el movimiento de ésta, los movimientos de los vientos, de las nubes, de los pájaros se efectúan exactamente de la misma manera que en el aire inmóvil. En cuanto al argumento de la caída vertical está, por eso mismo, virtualmente resuelto[31].

---

[29] Estimamos que la influencia ejercida por Bruno fue mucho mayor de lo que habitualmente se admite y de lo que se dice en los textos. Así, pues, nos parece seguro que Galileo lo conocía perfectamente: si no hablaba nunca de él no es por ignorancia, es por prudencia. De este modo evita cuidadosamente citar —incluso para combatirla— la interpretación bruniana dada por Mattheus Washer y, de otra parte, por el mismo Kepler, a los descubrimientos expuestos en el *Nuntius sidereus;* cf. Kepler, *Dissertatio cum nuntio sidereo, Opere,* vol. III, 1, pp. 105 ss.

[30] El nombre de Bruno no es pronunciado en la condena que recae sobre Copérnico (1616), ni tampoco en la que recae sobre Galileo. Pero está fuera de duda que fue el ejemplo de Bruno el que abrió los ojos a la Iglesia en cuanto al peligro que representaba para la religión la nueva astronomía.

[31] Giordano Bruno, *La cena delle ceneri,* III, 5: *Opere Italiane,* ed. Wag-

«De lo que habéis respondido al argumento que se saca de los vientos y de las nubes —escribe Bruno—, resulta también la respuesta a otro argumento, el que Aristóteles alega en el segundo libro del *De coelo*[32], donde dice que sería imposible que una piedra lanzada hacia arriba pudiera regresar abajo siguiendo la misma vertical, puesto que el movimiento muy rápido de la tierra la dejaría muy atrás, hacia Occidente.»

Bruno piensa que este célebre argumento carece de valor al no tener en cuenta un dato sumamente importante: el hecho de que la experiencia en cuestión (la proyección de la piedra hacia arriba) tiene lugar *en la tierra*. De lo que resulta que «todas las relaciones de rectitud y de oblicuidad se modifican necesariamente con el movimiento de aquélla»[33].

A diferencia de Copérnico, que distingue el movimiento «natural» de la tierra de todo movimiento «violento» de las cosas que se encuentran en ella, Bruno los asimila expresamente. Lo que ocurre en la tierra en movimiento encuentra su exacta contrapartida en lo que sucede en el navío que se desliza por la superficie del agua: tampoco aquí el movimiento global del navío produce efecto alguno sobre los movimientos parciales, «*pues hay una diferencia entre el movimiento del navío y el movimiento de las cosas que están en el navío*[34]; y si esto no fuera verdad, de ello se desprendería que cuando el navío surcara el mar nadie podría lanzar jamás algo en línea recta de una a otra borda; y que a cualquiera le resultaría imposible dar un salto y caer de pie en el sitio del que se elevó»[35]. Consecuencia completamente acorde con la concepción aristotélica, que los aristotélicos, sin embargo, se negaban a sacar, e incluso a admitir. Bruno, entre tanto, continúa la analogía entre los movimientos que tienen lugar en el navío y aquellos que tienen lugar en tierra: éstos se efectúan de una forma totalmente dife-

---

ner, Lipsiae, 1830, pp. 169 ss.: «*Da quel, que rispondete a l'argomento tolto da venti et nuvole, si prende ancora la risposta de l'altro che nel secondo libro del cielo e mondo apportò Aristotele, dove dice, che sarebbe impossibile, che una pietra gittata a l'alto potesse per medesma rettitudine perpendicolare tornare al basso; ma sarebbe necessario, che il velocissimo moto della terra se la lasciasse molto a dietro verso l'occidente.*»

[32] Aristóteles, *De coelo*, II, 14.

[33] G. Bruno, *op. cit.*, p. 170: «*Per che essendo questa projezione dentro la terra, è necessario, che col moto di quella, si venga a mutar ogni relazione di rettitudine et obbliquità.*»

[34] El subrayado es nuestro.

[35] *Ibid*: «*per che è differenza tra il moto del nave, e moto di quelle cose, che sono ne la nave, il che se non fusse vero, seguitarebbe, che quando la nave core per il mare, giammai alcuno potrebbe trare per dritto qualche cosa da un canto di quella a l'altro, e non sarebbe possibile che un potesse far un salto, o ritornare co' piè, onde li tolse.*»

rente de lo que pensaba Aristóteles, porque «todas las cosas que se encuentran en la tierra se mueven con la tierra»[36]. Los fenómenos hipotéticamente alegados por Aristóteles —el alongamiento hacia Occidente, etc.— sólo podrían tener lugar *si el origen del movimiento* (de la piedra) *fuera exterior a la Tierra.*

Indudablemente, si[37] «desde algún lugar exterior a la Tierra fuera lanzada alguna cosa a la tierra [esta cosa], a consecuencia del movimiento de la Tierra perdería la rectitud [de su movimiento], como sucede con el navío cuando desciende por el río: si alguien que se encuentra en la orilla lanza una piedra en línea recta hacia el navío, errará su blanco en proporción a la velocidad del navío. Pero si alguien se sitúa en el mástil del navío, entonces, por mucho que el navío corra, su lanzamiento no errará en nada. De modo que la piedra, u otra cosa grave lanzada desde el mástil hacia un punto situado al pie del mismo, o a cualquier otra parte de la cala o del cuerpo del navío, irá en línea recta. Asimismo, si alguien que se halla en el navío lanza en línea recta [vertical] una piedra hacia lo alto del mástil, o hacia la cofa, la piedra regresará hacia abajo por la misma línea, por mucho que se mueva el navío, con tal de que no experimente oscilaciones».

Se ve claro lo que de nuevo hay en el razonamiento de Bruno en relación al de Copérnico: los cuerpos que están «en tierra» participan del movimiento de la tierra no porque participen de su «naturaleza» sino porque están «en ella», de igual forma que los cuerpos que están «en el navío» participan del movimiento de éste; lo que quiere decir —y además Bruno lo dice—, que no se trata de la participación en su movimiento «natural», se trata del movimiento a secas, de la pertenencia del móvil a un sistema mecánico. Esta noción de sistema mecánico —conjunto de cuerpos unidos por su participación en un movimien-

---

[36] *Ibid: «Con la terra dunque si muovano tutte le cose, che si trovano in terra.»*

[37] *Ibid.: «Se dunque dal loco estra la terra qualche cosa fusse gittata in terra, per il moto di quella perderebbe la rettitudine. Come appare ne la nave, la qual, passando per il fiume, se alcuno, che si ritrova ne la sponda di quello, venga a gittar per dritto un sasso, verrà fallito il suo tratto, per quanto comporta la velocità del corso. Ma posto alcuno sopra l'arbore di detta nave, che corra quanto si voglia veloce, non fallirà punto il suo tratto: di sorte che per dritto dal punto, ch'è ne la cima de l'arbore, o ne la gabbia al punto, ch'e ne la radice de l'arbore o altra parte del ventro e corpo di detta nave, la pietra o altra cosa grave gittata non verrà. Cosi se dal punto de la radice al punto de la cima de l'arbore, o de la gabbia, alcuno ch'è dentro la nave, gitta per dritta una pietra, quella per la medesima linea ritornarà a basso, muovasi quanto si voglia la nave, pur che non faccia de gl'inchini.»*

to común— que sirve de base al razonamiento de Bruno, no tiene cabida en la física de Aristóteles.

Aristóteles considera el movimiento como una función o expresión de la «naturaleza» del móvil; lo ve como paso de un lugar A a otro B; a estos «lugares» los considera determinados con respecto al centro y a la circunferencia del Cosmos. De lo que se desprende que a partir de un lugar dado no puede haber para un cuerpo determinado sino un único movimiento «natural», lo que, para Bruno, querrá decir: Aristóteles concibe los «lugares» como exteriores al sistema físico de la tierra. Pues, para Bruno, los lugares no se determinan con respecto al cosmos: se determinan con respecto a tal o cual otro sistema mecánico. Por ello, un mismo «lugar» puede pertenecer a sistemas mecánicos diferentes, y los cuerpos que de él parten pueden ejecutar movimientos muy distintos: según el sistema al que pertenezcan. Esta consecuencia, de la que todo aristotélico se apartará con horror, Bruno la afirma *expressis verbis* [38].

«Así pues —nos dice Bruno— imaginemos a dos hombres: uno en el navío que navega, y otro fuera del barco; uno y otro tienen la mano en el aire, en el mismo punto, y desde ese mismo lugar y al mismo tiempo uno deja caer una piedra y el otro, otra, sin empujarla: la piedra del primero, sin desviarse de su línea [vertical] llegará al lugar fijado de antemano; y la del segundo resultará transportada hacia atrás. Esto se debe simplemente a que la piedra que parte de la mano del hombre que

[38] Giordano Bruno, *La cena de le ceneri*, III, 5, *Opere italiane*, ed. Wagner, Lipsiae, 1830, vol. I, p. 171: «Teo. *Or per tornare al proposito, se dunque saranno dui, de quali l'uno si trova dentro lo nave, che corre, e l'altro fuori di quella, de' quali tanto l'uno, quanto l'altro abbia la mano circa il medesmo punto de l'aria, e da quel medesmo loco nel medesmo tempo ancora l'uno lasci scorrere una pietra, e l'altro un' altra, senza che le donino spinta alcuna, quella del primo, senza perdere punto, nè deviar da la sua linea, verrà al prefisso loco; e quella del secondo si trovarà tralasciata a dietro. Il che non procede da altro, eccetto che la pietra, ch'esce da la mano de l'uno, ch'è sustentato da la nave, e per conseguenza si muove secondo il moto di quella, ha tal virtù impressa, quale non ha l'altra, che procede da la mano di quello, che n'è di fuora, ben che le pietre abbino medesmo gravità, medesmo aria tramezzante, si partano —possibil fia— dal medesmo punto, e patiscano la medesma spinta. Da la qual diversità non possiamo apportar altra ragione, eccetto che le cose, che hanno fissione, o simile appartenenze ne la nave, si muovono con quella; e l'una pietro porta seco la virtù del motore, il quale si muove con la nave, d'altro di quello, che non ha detta participazione. Da questo manifestamente si vede, che non dal termine del moto, onde si parte, nè dal termine dove va, nè dal mezzo, per cui si muove, prende la virtù d'andar rettamente, ma da l'efficacia de la virtù primieramente impressa, da la quale dipende la differenza tutta. E questo mi par che basti aver considerato, quanto a le proposto di Nundiano.*

es llevado por el navío, y, por consiguiente, se mueve conforme al movimiento de éste posee cierta virtud impresa que no posee la otra, la de la piedra que sale de la mano del hombre que está fuera del navío; y ello ocurre aunque las [dos] piedras tengan la misma gravedad, y aunque, si parten —en la medida de lo posible— del mismo punto y experimentan el mismo empuje, tengan el mismo aire por atravesar. De esta diversidad no podemos dar otra razón que no sea la de que las cosas que se encuentran sujetas al navío por un lazo o por tal pertenencia, se mueven con éste; y que una de las piedras, la que se mueve con el navío, lleva consigo la virtud del motor, mientras que la otra no participa de ella. De donde se desprende muy claramente que [la piedra] no recibe la virtud de ir en línea recta ni del punto de donde parte ni del punto hacia el cual va, sino de la eficacia de la virtud que le fue impresa. De ello proviene toda la diferencia. Esto me parece suficiente para responder al precitado argumento.»

Sin duda Bruno no está equivocado. Al menos, no del todo. La noción del *impetus*, virtud o fuerza que *anima* al móvil y produce el movimiento (el *impetus* o «la virtud impresa empuja —nos dice— mientras dura» [39] cuando se lanza alguna cosa hacia arriba se imprime al móvil una levedad proporcional [40], y el medio no desempeña ningún papel en este movimiento, aunque sea condición necesaria, puesto que si no hubiera espacio [41] donde poder hacerse, no habría sido posible ninguna traslación) es suficiente, en efecto, para derribar el sistema de la física aristotélica; y, en particular, es suficiente para fundamentar la noción de conjunto físico de cuerpos, explicar su unidad y su enlace persistente a pesar de la ausencia de contacto. No obstante, para fundamentar la nueva física, e incluso para servir de infraestructura a la astronomía copernicana, esa noción está lejos de ser suficiente. Ni siquiera es suficiente para fundamentar la física de Bruno. Pues si no hay duda de que la física del *impetus* concuerda con la distinción, establecida por éste, entre

---

[39] Giordano Bruno, *Acrotismus Camoerracensis*, art. XXXV (*Opera latina*, vol. I, 1, Napoli, 1879, p. 138): «virtus impressa quandiu durat, tandiu pellat: ut ubi quis pilam sursum jaciat, illi levitati proportionale impressit; at cuius certe lationis differentiam nihil facit medium, quamvis ad lationem simpliciter sit necessarium, quia, nisi sit spatium per quod feratur, nulla latio esse potest».

[40] Esta misma doctrina la encontramos en el joven Galileo. Véase *supra*, p. 54.

[41] El espacio de Bruno, como el de Benedetti (véase *supra*, p. 51) es *intervallum* y no *locus;* lo que revela la inspiración platónica.

el movimiento del navío y el de los cuerpos que están en el navío, en modo alguno le es equivalente. Además, antes de Bruno, ningún partidario de esta célebre teoría tuvo la idea de sacar, para el navío, las consecuencias que Bruno le hace conllevar.

Como hemos visto, esta distinción —a grandes rasgos equivalente al principo de la relatividad del movimiento— implica la negación formal de la teoría aristotélica del lugar. Incluso sería más justo decir que procede de ella.

La teoría aristotélica del lugar está basada —ya lo hemos dicho, pero conviene decirlo de nuevo— *metafísicamente* en la concepción del Cosmos, conjunto ordenado de objetos que poseen una naturaleza propia; conjunto en el que el orden (o la distribución) geométrico (o espacial) expresa la diferencia de «naturalezas» y se explica por ésta; *físicamente*, se apoya en la teoría del movimiento «natural» de los cuerpos, es decir, en el hecho del movimiento de los cuerpos «graves» hacia «abajo» y de los cuerpos «leves» hacia «arriba»[42].

Ahora bien, esa base física, ese fundamento metafísico de la doctrina aristotélica es lo que justamente rechaza Bruno de forma expresa.

Primero la base física[43]: «Es completamente falsa la teoría de la gravedad y de la levedad que encontramos en Aristóteles —nos dice Bruno—; y a este respecto afirmamos estas proposiciones muy ciertas: no se dice grave y leve de los cuerpos naturales, naturalmente constituidos, ni tampoco de sus esferas enteras ni de sus partes (tomadas en sí mismas), si es que conviene al globo terrestre y a todos los astros tener partes constituidas en el mismo lugar».

Es, como se ha visto, la teoría ya profesada por Copérnico. Bruno prosigue entonces[44]: «La gravedad y la levedad no son

[42] Véanse *supra*, pp. 8 ss

[43] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LXXIV, p. 185: «Disciplina de gravi et levi, quae est apud Aristotelem, prorsus perversa est, pro quo hasce verissimas ponimus propositiones. Grave et leve non dicuntur de corporibus naturalibus, naturaliter constitutis, nec de ipsis integris sphaeris, nec partibus earum: si terreno globo et cuicunque astro constantes in una sede conveniat habere partes.»

[44] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LXXX, p. 189: «Gravitas et levitas nihil aliud est praeter appulsum partium ad locum suum, in quo vel moveantur, vel quiescant, et per quod ferri debeant, pro quo quaelibet pars tum gravis tum levis esse intelligitur, quae, ubi nata est, esse degens, neque gravis est neque levis; relinquitur ergo gravis levisque ratio respectiva tantum, per absolutas enim differentias mundi locales nullum est. Quocirca bene Plato in Timaeo dicit: in coelo non esse aliud quidem sursum, aliud vero deorsum, si ex omni parte simile est et undique oppositis pedibus ambulabat unusquisque ipse sibi. Hunc frustra refricat Aristote-

sino el empuje de las partes hacia su lugar, donde se mueven o permanecen inmóviles..., motivo por el que una parte cualquiera es considerada unas veces como grave y otras como leve; y sin embargo, allí donde nace y donde debe estar, no es ni grave ni leve; de lo que resulta que "grave" y "leve" es una diferencia sólo relativa, y no es nada con respecto a las diferencias locales absolutas del mundo. Por ello tenía razón Platón cuando decía en el *Timeo* que en el cielo no existe nada que esté arriba ni nada que esté abajo, puesto que es similar en todas sus partes». Y para subrayar que en el gran debate entre Aristóteles y Platón —indicación muy preciosa— toma partido por este último contra el primero, Bruno añade: «En vano trata Aristóteles de hacer objeciones en contra». Además, no podía ser de otra forma, ya que en la teoría de la pesantez es Platón quien, por lo general, tiene razón. Platón, que dice —siempre en el *Timeo*— que en cuanto *cualidades* de los cuerpos no existen lo grave y lo leve; no hay sino lo más o menos grave o leve: «siendo más grave lo que está [compuesto] de más, y más leve [lo compuesto] de menos [partes]».

En cuanto a la base metafísica o cosmológica, como ya hemos dicho y es demasiado sabido para que haya que insistir en ello, Bruno fue de los primeros si no el primero, en proclamar la infinitud del espacio, y en oponer al cosmos finito de la tradición su Universo infinitamente infinito; y en llevar hasta su límite lógico la asimilación, tímidamente esbozada por Copérnico, entre la tierra y el cielo.

Nos dice Bruno[45]: «El mundo, que los antiguos filósofos decían estar engendrado y, luego de ello, ser eterno... no es el Universo, sino sólo esta máquina, y las otras máquinas similares a ésta...».

No sólo la tierra es asimilada a los planetas en un «mundo» agrandado y, sin embargo, limitado: el propio sol, que en Copérnico ocupaba el centro del Universo, pierde su lugar privilegiado. Sin duda conserva la posición central en *nuestro* mundo; pero nuestro mundo, el sistema solar no es más que una «máquina» entre una infinidad de «máquinas» que llenan el infinito del Universo de Bruno. Por eso el Sol no está en el «centro» del Universo, puesto que en este Universo infinito, donde una infinidad de astros —de otros soles— se mueven según leyes

---

les, sicut etiam, cum gravius bene dicebatur in Timaeo, esse quod ex pluribus est, levius autem quod ex paucioribus.»

[45] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LXIII, p. 175: «Mundus, quem antiqui philosophorum parentes genitum esse dicunt, postmodumque sempiternum, inter quos est Empedocles non est *Universum*, sed haec machina huicque machinae similes.»

eternamente determinadas, no hay ni centro ni circunferencia. Nada limita la infinidad del espacio[46]. Nada es pues más ridículo que la tentativa de Aristóteles de fundamentar su finitismo cosmológico en un pretendido análisis o clasificación de los movimientos. ¡Movimiento hacia arriba! ¡Movimiento hacia abajo! Para Bruno, «arriba» y «abajo» son conceptos puramente relativos, tan relativos como «derecha» e «izquierda». Todo está a la derecha o a la izquierda de algo, todo está abajo o arriba, según se quiera. En cuanto al movimiento circular, «alrededor del centro», todo punto del espacio puede ser tomado como «centro», puesto que ninguno lo es realmente; todos los puntos del espacio infinito son equivalentes, y cada uno de los habitantes de cada uno de los astros puede creerse en el centro del Universo. Y, por ende, inmóvil.

Cada uno de los habitantes de cada uno de los astros... He aquí una idea peligrosa que Bruno —y Galileo— expiará duramente.

Cada uno de los habitantes de cada uno de los astros puede creerse inmóvil... Pero ninguno tiene derecho a hacerlo. En efecto, la infinitud del Universo de Bruno implica la completa geometrización del espacio: no más «lugares» ni direciones privilegiados[47]. Y esto, a su vez, implica la indiferencia del espacio, y de los cuerpos, con respecto al movimiento[48] y al reposo.

El espacio no resiste al movimiento de los cuerpos. ¿Por qué iba a hacerlo? El paso de un cuerpo de un lugar a otro no le hace pasar de «su» lugar a otro que no sea el «suyo»: todos

---

[46] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LXXII, p. 183: «Certis ergo legibus infinita astra in immenso spatio feruntur, universo uno infinito, immobileque manente; cujus sicut nulla est circumferentia, ita nec ulla forma, et in quo aeteris est finire atque terminare singula; quae non minus apta sunt ad motum (sive per se moveantur per aetereum campum, sive magis secundum deferentis lationem), si angularis, quam si sphaericae sint figurae. Nullum interea astrorum, quodcunque et qualecunque sit illud, sive sol, inquam, fuerit, sive tellus, in medio vel in universi circumferentia dicere possis, ubi omnium singula circumquaque infinitum spatium habere convincentur. Hinc habes, quomodo omnia dicere possis in medio, vel nulla. Apparebit autem omnibus astrorum incolis se universi medium obtinere.»

[47] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LIII, p. 169: «Quam levi persuasione motus, ipse movetur et nos movere contendit Aristoteles! ubi trium suarum lationum differentias concludit ex trium magnitudinum seu dimensionum differentia. Nos enim nullum sursum vel deorsum nisi respective intelligimus, neque diceremus unquam principium, unde motus, esse rationem dextri: ad unum quippe situm quod est dextrum ad alium secundum alias loci differentias invenietur, puta sinistrum, ante, supra. Mitto quod, cum infinita sint mundana corpora et infinita mundi dimensio, nec deorsum esse poterit, neque medium, neque sursum.»

[48] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXXV, p. 138: «Spaciunt... nullam ad motum differentiam habet.»

los «lugares» son sus lugares, puesto que todos son equivalentes. Y exactamente por la misma razón el cuerpo no se opone jamás al movimiento; en efecto, se mueve siempre de su lugar a su lugar. Así pues, todos los cuerpos poseen la misma aptitud para el movimiento. Y para la inmovilidad, ya que al estar en sus lugares no tienden hacia ninguna parte[49].

Como se ve, el espacio es el verdadero «lugar» de los cuerpos; es el mismo lugar de los «lugares» de Aristóteles; pues éstos (las superficies envolventes de los cuerpos) están ellos mismos en el espacio de Bruno. El propio Universo tiene su lugar en el espacio: vacío inmenso, infinito que subtiende y recibe lo real[50].

Las objeciones de los aristotélicos concernientes a la imposibilidad tanto lógica como metafísica del infinito, y a la imposibilidad física del vacío, son rechazadas por Bruno[51]. Por el contrario, es el finito (el cosmos limitado) de Aristóteles lo que es incognoscible, falso e imposible; y es el infinito lo que es conocido, verdadero e incluso necesario[52]. Por supuesto el infinito no en potencia sino en acto, puesto que según Bruno la propia materia está en todas partes y siempre en acto. En cuanto al vacío, es expresamente identificado con el espacio que contiene a todos los cuerpos; el vacío es un infinito, cuyas partes están en todas partes *bajo* los cuerpos: sin duda, de hecho no existe el espacio vacío —salvo allí donde los cuerpos se tocan—;

---

[49] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXXII, p. 130: «Minime verum est, quod recta movetur magis mutare locum, quam quod circulo torqueatur.»

[50] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXXIV, p. 133: «Vacuum est spatium, in quo tot corpora continentur. Ipsum est unum infinitum, cujus partes ibi tantum sine corpore esse intelligimus, ubi corpora corporibus continguntur et alia moventur intra alia.» *Ibid.*, art. XXXV, p. 140: «Vacuum vero spacium, in quo corpora continentur, est unum infinitum cujus partes alicubi sine corpore esse intelligantur.» *Ibid.*, art. XXXVII, p. 142: «Vacuum tum separatum quid a corporibus, tum ipsis imbibitum, tum unum continuum dicere non formidamus: id enim necesse est.»

[51] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXVII, p. 123: «Infinitum dicimus non solum ut materiam, sed et ut actum.—*Ratio:* Non est materia infinita sine aliqua potentia et actu, sed ubique actus, alicujusque formae participes: non est enim vacuum sine aere vel alio corpore; sive vacuum capias ut spacium, sive ut disterminans; non est locus sine locato.»

[52] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXIV, p. 121: «Nobis non impossibile est simul infinitum dicere corpus, et locum quemdam corporibus esse.—*Ratio:* Si non superficies, sed spacium quoddam locus est, nullum corpus, neque ulla pars corporis illocata erit, sive maximum, sive minimum, sive finitum sit ipsum, sive infinitum.» *Ibid.*, art. XXVI, p. 122: «Finitum Aristotelis est ignotum, falsum et impossibile: notum, verum atque necessarium est infinitum plurium philosophorum: ... Finitum ipsum et terminus universalis est inconveniens, falsus et impossibilis...»; cf. también *supra*, p. 50, el texto de Benedetti.

de hecho, es el aire o el éter lo que llena el espacio. Pero esto no impide que, metafísicamente y en sí, el vacío no sea sino los cuerpos que lo llenan: es el soporte y el receptáculo[53] necesario del pleno. Así, pues, éste es el verdadero significado del término «lugar», la verdadera respuesta que debe darse a la pregunta: «¿dónde?» ¿Dónde están los cuerpos? En el vacío, responde Bruno, en el espacio que es su receptáculo común y que es el «lugar inmóvil» donde todo es contenido; lugar inmóvil porque es infinito y porque el infinito en cuanto tal no puede moverse[54]. Por el contrario, todo lo finito es móvil. Aristóteles afirma que el movimiento presupone el «lugar»; y que el vacío lo haría imposible (el movimiento en el vacío sería instantáneo y poseería una velocidad infinita). ¡Nada de eso!, le responde Bruno: el movimiento de ninguna manera presupone el «lugar» sino el espacio; y el vacío, lejos de hacerlo imposible es, por el contrario, condición necesaria de éste: todo movimiento se hace en el vacío, hacia el vacío e incluso a partir del vacío[55]. Además, el movimiento en el vacío no se hará jamás en el instante a una velocidad infinita[56]. El razonamiento de Aristóteles no vale nada.

Uno se queda confundido ante la audacia y el radicalismo del pensamiento de Bruno, que opera una transformación —verdadera revolución— de la tradicional imagen del mundo y de la

[53] Art. XXX, p. 126: «*Ratio:* Potuit sane Plato dixisse, materiam esse receptaculum quoddam et locum quoddam receptaculum esse»; cf. también p. 130.

[54] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXIII, p. 120: «*Ratio:* Infinitum, quia infinitum, maxime non nutat, non trepidat; infinitas enim est maxima immobilitatis ratio, ideo infinitum seipsum, firmare dicitur: quia ex sua ratione habet, atque natura firmitatem.» *Ibid.*, art. XXXIV, p. 134: «*Ratio:* Vacuum est, a quo corpora recipiuntur, et in quo corpora continentur: recipiuntur autem ab eo, dum eodem spatio semper immobili permanente (quo nihil fixius esse potest) aër vel aliud alii in ipso cedit. Interim igitur nihil per vacuum feri intelligitur, quasi ante ibi nihil extiterit, quia aër est ubi nullum aliud corpus sensibile apparet.»

[55] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXXV, p. 135: «Non igitur ullus erit motus, si non si vacuum, omne enim movetur aut e vacuo, aut ad vacuum, aut in vacuo.»; *ibid.*, art. XXVIII, p. 123: «Translatio corporum indicat magis locum esse spacium, quam quidcunque aliud. Est igitur receptaculum corporum magnitudinem habentium, ad nullam quattuor causarum reducibile, sed per se quintum causae genus referens.—*Ratio:* Hoc (spacium) neque elementum est, neque ex elementis, non enim elementa corporea habet, nec incorporea; haud quidem corporea, quia non sensibile: haud incorporea, quia magnitudinem habet. Porro vacuum est, seu spacium, in quo sunt corpora magnitudinem habentia.»

[56] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXXV, p. 136: «Non necesarium est moveri in instanti quod movetur per vacuum»; *ibid.*, p. 137: «In his omnibus quod ad motum spectat, vacuum nihil conducere videtur, cui non motum vel quietem sed locum et continentiam tantum est administrare.»

realidad física. Infinidad del Universo, unidad de la Naturaleza, geometrización del espacio, negación del lugar, relatividad del movimiento: estamos muy cerca de Newton. El Cosmos medieval ha sido destruido; se puede decir que desaparece en el vacío llevándose consigo la física de Aristóteles y dejando sitio libre para una «ciencia nueva» que, no obstante, Bruno no podrá fundar.

¿Qué es lo que le detendrá en el camino? Sin duda, en primer lugar, el impulso de su propio pensamiento; la inspiración religiosa del mismo; su carácter animista; el valor afectivo que posee para él el «Universo», la gran cadena de los seres. Pero también el hecho, la experiencia, el dato.

Los cuerpos caen, la Tierra gira, los planetas describen círculos alrededor del Sol. Aristóteles lo explica; Bruno, en el fondo, no lo sabe explicar[57]. Y ésta es una fuente de debilidad. Pues a la física de Aristóteles no basta con oponerle una *metafísica;* se precisa otra *física.* Indudablemente, la nueva física no puede salir más que de una *nueva metafísica;* pero la *metafísica* de Bruno, animista y antimatemática, no puede engendrarla: le es forzoso entonces atenerse a la antigua física parisiense (la dinámica del *impetus);* a la de Copérnico. Por eso vemos —espectáculo extraño— a este hombre, a quien una profunda intuición metafísica ha llevado tan lejos y tan alto, volver atrás, tropezar, detenerse. El *impetus,* la fuerza-causa del movimiento, la tendencia de los todos a juntarse, el movimiento circular natural de los todos, el movimiento circular natural de las esferas, los astros dirigidos por almas[58].

Sin embargo, no seamos severos: el pensamiento tiene horror al vacío; una teoría científica no desaparece si no es sustituida por otra. Ahora bien, esta otra sólo la elaborará Newton.

c) *Tycho Brahe*

A nosotros nos parecen bastante convincentes los razonamientos que Bruno opone a los argumentos aristotélicos. Hay que decir, no obstante, que en su época no convencieron a nadie. Ni a Tycho Brahe, quien en su polémica con Rothmann presenta tranquilamente los viejos argumentos aristotélicos —sin

---

[57] Así (*Acrotismus,* art. LXV) explica la posibilidad del movimiento circular de los planetas por el hecho de que los astros no tienen peso: «Tellures superiores igitur non sunt graves neque leves, sicut neque terra ista, ubi mole sua in regione infinita consistit.»

[58] *Ibid.,* art. LXXIV, pp. 176 ss.

duda vistiéndolos a la moderna—[59]; ni tampoco a Kepler, quien, al tiempo que sufre la influencia de Bruno, se cree obligado, para combatirlos, a volver a los argumentos de Copérnico, reforzándolos con una nueva concepción o, si se prefiere, sustituyendo la concepción mítica de Copérnico —la de comunidad de naturaleza— por una concepción física, la de la fuerza de atracción.

Las objeciones de Tycho Brahe contra el movimiento de la tierra —y contra los argumentos de Copérnico— no son del todo despreciables. En el fondo, tiene toda la razón cuando nos dice que la noción de movimiento «natural» (como opuesto al «violento») admite difícilmente que un cuerpo pueda estar animado por *dos* movimientos de este tipo; y cuando añade que estos movimientos necesariamente deberían estorbarse mutuamente. Como también tiene razón al tachar de «poco probable» la explicación dada por Copérnico al movimiento de los cuerpos separados (nubes, aire, etc.). Sin embargo, resulta curioso que, sin advertir que se trata de una proposición común a Copérnico y Aristóteles, llegue a negar formalmente el principio-axioma sobre el cual se fundamenta: es falso —nos dice— que la parte separada de un todo conserve su virtud. Bien al contrario, se puede decir que no lo hará jamás[60].

Menos inspirado está Tycho al hacer de nuevo la objeción clásica del cuerpo que cae de lo alto de una torre y del cuerpo lanzado verticalmente al aire[61]. Pero el argumento le gusta. Muy justamente, ve en éste la más fuerte objeción de los aristotélicos (y Tycho, pese a sus innovaciones astronómicas sigue siendo, en física, un aristotélico). Por ello se niega a admitir la argumentación de Bruno[62]. «Si algunos creen —escribe a Rothmann— que una bala de cañón lanzada hacia lo alto desde un navío en marcha regresa al mismo sitio que si el navío estuviera en reposo, se equivocan de medio a medio. En realidad, la bala de cañón quedará tanto más atrás cuanto más rápidamente se desplace el navío.»

Nos parece que tal vez la obstinación de Tycho no atestigüe en su favor. Pero seamos justos. Démonos cuenta de lo que de inverosímil tenía la aserción de Bruno desde el punto de vista de un aristotélico[63].

---

[59] Fue Tycho Brahe quien inventó y lanzó a la discusión los famosos argumentos del disparo de cañón, que tan populares se harían luego.

[60] Cf. Tycho Brahe, *Astronomicarum epistolarum liber*, Uranienburg, MDXCII, pp. 188 ss.; ed. Dreyer, Hafniae, 1919, pp. 218 ss.

[61] *Astronomicarum epistolarum liber*, p. 188, ed. Dreyer, p. 218.

[62] *Astronomicarum epistolarum liber, ibid.*

[63] En efecto, imaginemos un navío amarrado bajo un puente: está

Sin embargo no bastaba con rechazar los razonamientos de Bruno o recurir a la experiencia. Por ello Tycho se dedica a modernizar el argumento clásico, introduciendo una invención reciente: el cañón[64].

«Ahora bien, ¿qué pasaría, pregunto —escribe Tycho Brahe—, si con un gran cañón se disparara una bala hacia Oriente...; y después, con el mismo cañón y desde el mismo lugar se disparara otra... hacia Occidente? ¿Puede crerse que tanto una como otra... recorrerán en tierra espacios iguales?»

Tycho Brahe insinúa que para llevar a cabo esta hazaña, las balas en cuestión deberían de algún modo saber lo que tienen que hacer, saber especialmente que deben ajustarse a la teoría (copernicana) según la cual todo objeto «terrestre» debe seguir a la tierra en su movimiento. Tycho no acepta esta teoría. Estima, además, que aunque se admitiera para los cuerpos no animados por un movimiento propio, sería imposible aplicarla al caso de las balas de cañón, e incluso al de los cuerpos que caen

---

claro que una bala de cañón que caiga desde lo alto de ese puente (desde un punto A) tocará al navío en el punto situado precisamente debajo del punto de partida de la bala (en el punto B), al igual que una bala que se deje caer desde lo alto del mástil de un navío en reposo tocará el puente del navío al pie de ese mástil. Pero ahora imaginemos al navío en movimiento; es evidente que la bala que parta del punto A no podrá nunca tocar el puente del navío en el punto B, punto que estaba debajo de A en el momento de la partida de la bala: en efecto, durante el tiempo de la caída de la bala, el navío, y por lo tanto el punto B, se han alejado. ¿Podemos admitir que sucederá otra cosa con la bala que cae desde lo alto del mástil? El aristotélico no lo podrá admitir. Efectivamente, supongamos que el mástil del navío sea tan alto como el puente bajo el cual está pasando; supongamos, como lo hace Bruno, que en el mismo momento, en el momento preciso en que la punta del mástil toca el punto en cuestión, dejamos caer *dos* balas de cañón: una desde el puente, la otra desde el mástil. El aristotélico no admitirá jamás que de esas dos balas, que descienden *en caída libre*, en el *mismo momento* y desde el *mismo lugar*, una caiga recto hacia abajo, al agua, y la otra, describiendo una curiosa curva, vaya a parar al pie mismo del mástil. ¿Qué posibilidad hay de que sea así? ¿Qué razón podría haber para admitir tal diferencia? ¿No sería esto admitir que la bala «sabe» dónde debe ir y «se acuerda» de su asociación —pasada— con el navío y su mástil? Una concepción que, al aristotélico, le parecería —con razón— antropomórfica y mítica en extremo.

[64] Tycho Brahe, *Astronomicarum epistolarum liber*, p. 189; ed. Dreyer, p. 219: «Et quid, quaeso, fiet, si Tormento Bombardico majori versus Ortum directo, explodatur globus ferreus, sive plumbeus, sive etiam lapideus, atq: ex eo ipso versus Occasum in eodem loco disposito, idque utrinque ad pariles cum horizonte angulos respectu prioris inclinationis elevato? Au fieri posse putandum, ut globus utrinque eadem pulveris quantitate et vi emissus tantudinem in terra permeet spatii, ob naturalem motus scientiam qua globus quilibet e terrestribus formatus totam terram concomitaretur?»

librememente. Desde el punto de vista de Tycho, este caso es totalmente diferente a los otros: la bala de cañón posee un movimiento violento y extremadamente rápido: ¿cómo podría coexistir este movimiento con el movimiento «natural» de rotación sin estorbarlo y, también, sin ser estorbado por él? En efecto, como hemos dicho más de una vez, desde el punto de vista de la física pregalileana nada resulta menos verosímil que la independencia relativa de los movimientos. Admitirla equivaldría a admitir una causa que no produce efecto. Por eso Tycho Brahe prosigue[65] explicándonos que sería muy extraño que «el movimiento extremadamente violento causado por la pólvora del cañón en oposición a la naturaleza» y el movimiento natural y extremadamente rápido de la tierra se pudieran combinar entre sí sin resistencia. En efecto, según Copérnico y Bruno[66], «en la

[65] Tycho quiere decir que el movimiento circular de la bala (movimiento que ejecuta siguiendo a la tierra), aunque natural, se asemeja, por su rapidez, al movimiento violento producido por la explosión de la pólvora y, por consiguiente, debería tener efectos análogos a los de éste: a saber, debería *impedir* a la bala que cayera a tierra.

[66] Tycho Brahe, *op. cit.*, pp. 189-219: «Ubi igitur manebit violentissimus ille motus e puluere Bombardico praeter Naturam concitatus, qui sane alteri illi naturali, quo Terra in gyrum verti deberet, ut admodum pernici, quodammodo aemulus est? Sunt igitur iam in globo sic emisso tres motus: Vnus quo is ratione gravitatis per lineam rectam centrum Terrae peteret: Alter quo per consensum, totius Terrae convolutionem ad amussim imitaretur: Tertius vero ille, qui fit per violentiam, quam vis Nitri sulphurosata, et carbonibus inflammata, instar Tonitrui et Fulminis, cogit globum rapidissimo impetu eo pergere, quo minime suapte Natura vellet. Cumque is violentissimus motus alterum, quo gravia necessario, et naturaliter recta descendunt, adeo impediat, ut nisi post longe emensum spatium, imo vix quidem antequam violentia illa se remiserit, atq; in quietem paulatim desierit, Terram contingere possit, quidnam quaeso, obtinebit secundus ille motus, si et is naturalis esset (in circuitum videlicet convolutio) privilegii, ut in Aëre etiam tam tenui per violentissimam illam concitationem, contra Naturam factam, nihil prorsus impediatur! Experientia enim testatur, quod globus eiusdem magnitudinis et ponderis, eo, quo diximus modo, vice versa vi pulveris bombardici ejusdem quantitatis, et validitatis emissus, idem proxime spatium de superficie Terrae post se relinquat, tam versus Ortum, pari, ut dixi, ejusdem Tormenti inclinatione, quam versus Occasum eiaculatus, Aëre presertim satis tranquillo existente, et hanc, vel illam impulsionem nihil per accidens promovente, vel retardante: cum tamen ob Terrae motum diurnum (si quis esset) concitatissimum, globus versus Ortum emissus nequaquam tantum spatii de superficie Terrae emetiri posset, praeveniente nonnihil suo motu Terra, atque is, qui versus Occasum pariformiter explosus est, Terra tunc aliquid de superficie, motu proprio subtrahente, et ob id spatium interceptum augente. Nam ut dilucidius haec intelligantur; e maxima Bombarda quam duplicem Cartoam vocant, globus ferreus, ad obliquum emissus, intra duo minuta temporis vix motu fessus Terram pertingit quibus viginti millia passuum majorum motu diurno in parallelo Germaniae convolvi deberet, si motioni diurnae obnoxia esset Tellus.»

bala disparada habrá tres movimientos: uno por el cual ésta, a causa de su gravedad, tiende en línea recta hacia el centro de la tierra; otro, por el cual, en virtud de su comunidad de naturaleza con la tierra, imita, sin cansarse, la rotación de ésta, y también un tercero producido... por la violencia de... la explosión de la pólvora... violencia que obliga a la bala del cañón a ir con impulso muy rápido allí donde según su propia naturaleza no quiere de ningún modo ir. Así pues, este movimiento, extremadamente violento, estorba al otro, a saber: a aquél por el cual los graves, necesaria y naturalmente, descienden en línea recta; por ello sólo luego de haber atravesado un gran espacio, e incluso sólo luego de que esa violencia se agote y poco a poco vuelva al reposo, [la citada bala de cañón] puede tocar tierra; pregunto, pues, ¿cuál será el efecto del segundo movimiento [o sea, el de la rotación en círculo]... y cómo es que no le estorba en absoluto esta violentísima provocación hecha contra la naturaleza? Pues la experiencia nos muestra que el obús del mismo tamaño y peso lanzado en uno y otro sentido con la misma cantidad de pólvora de cañón y la misma fuerza, atraviesa poco más o menos el mismo espacio de la superficie terrestre tanto hacia Oriente como hacia Occidente si, como de hecho, es disparado con la misma inclinación del cañón y siempre que el aire esté lo suficientemente tranquilo y que no exista alguna causa accidental que favorezca o impida este impulso; sin embargo, a consecuencia del movimiento diurno extremadamente rápido de la tierra [si lo hubiera], el obús disparado hacia Oriente no podría nunca atravesar tanto espacio en la superficie de la tierra como el obús que de igual modo fuera lanzado hacia Occidente, puesto que en este último caso, la tierra, con su movimiento [propio], iría a su encuentro...».

Como buen aristotélico, Tycho Brahe considera que el movimiento violento del obús es el que impide a éste caer a tierra; piensa que ese movimiento suprime el movimiento de caída, y no porque aquél dirija el obús hacia arriba, sino simplemente porque está presente en el obús y es más rápido —más fuerte— que el que se dirige hacia el centro de la tierra. Por eso no puede comprender cómo podría un obús animado —según Copérnico— por un movimiento natural *extremadamente rápido* sufrir, como si nada, la influencia del movimiento violento. Tycho piensa que si los cuerpos terrestres estuvieran realmente animados por este movimiento, más rápido que el de la bala disparada por el cañón, los dos movimientos se estorbarían. El uno suprimiría al otro, y todas las balas volarían siempre en la misma dirección. Si la tierra girara, recorrerían entonces, *con*

respecto a la tierra móvil, diferentes distancias en las dos direcciones; ahora bien, como no es así la cosa, es que el movimiento natural en el que participarían los obuses no existe; la bala de cañón sólo posee el movimiento violento que le anima.

No nos burlemos de Tycho. En el fondo tiene toda la razón cuando nos dice que no es posible admitir el movimiento de la tierra hasta que alguien, con argumentos nuevos y más sólidos, muestre claramente que el movimiento violento no se ve ni estorbado ni de forma alguna influenciado por los movimientos naturales (de la caída y de la rotación terrestre)[67]. Por eso veremos a Galileo ocuparse —después de Kepler— de este tema durante mucho tiempo.

d) *Kepler*

La contra-argumentación de Kepler presenta un interés muy particular. Y no porque aporte una solución definitiva al problema, sino porque nos muestra, una vez más, lo que había de nuevo e insólito en el pensamiento de un Bruno o de un Galileo; nos muestra la fuerza de los obstáculos que debieron vencer; nos descubre, en fin, la fuente última —filosófica— de las dificultades.

Ciertamente, en todo este debate, de lo que se trata es de filosofía, de ontología, de metafísica. No de ciencia pura. Fueron razones filosóficas, mucho más que razones puramente científicas, las que detuvieron a Kepler —a quien debemos el mismo término de *inercia*—[68], impidiéndole establecer los fundamentos de la nueva dinámica.

Desde el punto de vista estrictamente científico, Kepler es, indudablemente, el primer talento de su tiempo. ¿No unió a un

[67] Tycho Brahe, *Astronomicarum epistolarum liber,* pp. 189-219: «Donecis, vel quispiam alius invictis rationibus liquido ostenderit, qui fieri possit, ut supra modum violentus ille, de quo dixi, motus, a duobus istis quos ille assumit, naturalibus, omnino nihil impediatur, vel etiam hos nullo vestigio interturbet...»

[68] Como es sabido, la *inercia* kepleriana es algo muy diferente de la *inercia* de la ciencia clásica. La *inercia* kepleriana expresa la resistencia del cuerpo grave al *movimiento* (y no a su puesta en movimiento o aceleración), su tendencia natural *al reposo.* Por eso —gracias precisamente a la *inercia*— todo movimiento implica un motor, y privado de éste, termina por consumirse y desaparecer. Para Kepler es incomprensible la persistencia eterna de un movimiento, sea cual fuere. La inercia, resistencia interna al movimiento, desempeña en la física de Kepler un papel análogo al que la resistencia externa del medio desempeña en la de Aristóteles; así, pues, Kepler estima que si los cuerpos no estuvieran dotados de inercia el movimiento sería instantáneo. Cf. *infra,* p. 175, n. 71.

genio matemático de primer orden una audacia de pensamiento sin igual, audacia que le permitió librar a la astronomía y, por lo tanto, a la física y a la mecánica, de la obsesión de la circularidad? ¿No escribió una *Física celeste* —asociación de términos tan sorprendentes para su época como para la nuestra ha sido la de la *evolución creadora*— y proclamó, tras Platón, el reino de la geometría en el mundo material?[69]. Y, no obstante, filosóficamente está más cerca de Aristóteles que de Descartes o de Galileo. Filosóficamente es todavía un hombre de la Edad Media. Para Kepler, el movimiento y el reposo se oponen como la luz y las tinieblas; como el ser y la privación de ser[70]. Por eso tiene necesidad de una causa para explicar la existencia y la persistencia del movimiento, pero no para explicar el reposo, ni la detención[71].

Claro es que Kepler abandona la clásica concepción de los «lugares naturales» de los cuerpos. El «lugar natural» del cuerpo kepleriano es el espacio. Y el espacio kepleriano —como el de Bruno— es ya lo bastante homogéneo como para que cada «lugar» se convierta en un «lugar natural» para cada cuerpo. Por eso permanece en este «lugar» natural hasta que una fuerza lo saca de allí. Por sí mismo no se pone en marcha, pues, para Kepler, el cuerpo está *inerte* y privado de tendencias naturales. Pero en cada lugar *se detiene* por sí mismo cuando una fuerza no lo empuja o no lo lleva a otro lado. Esto, también, es consecuencia de la *inercia*. Así, para que las nubes, los pájaros, las piedras soltadas o lanzadas sigan a la tierra en su movimiento diurno es necesario, para Kepler, que sean llevados con o por

[69] Kepler, *De fundamentis astrologiae certioris*, tesis XX (*Opera*, ed. Frisch, vol. I, p. 423): «Ubi materia, ibi geometria»; *Mysterium cosmographicum*, nota de 1621 (*Opera*, vol. I, p. 134): «Omnis numerorum nobilitas (quam praecipue admiratur Theologia Pythagorica rebusque divinis comparat) est primitus a geometria.» Cf. *Apologia adversus Robertum de Fluctibus* (*Opera*, vol. V, pp. 421 ss.).

[70] Véanse *infra*, pp. 180 ss.

[71] La detención se explica precisamente por la *inercia* natural de los cuerpos. La *inercia* (cf. *Opera*, ed. Frisch, vol. II, p. 674; III, pp. 305, 374, 459; VI, pp. 167, 174, 181) es para Kepler una propiedad absolutamente general de la materia, resultado de su «impotencia». Por ello, al ser esta materia única en el Universo, Kepler atribuye esta inercia a los cuerpos celestes, que como todos los demás deben ser movidos por una fuerza activa (que Kepler hace emanar del sol) y que se detendrían si dejaran de serlo. Cf. *Epitome astronomiae copernicanae*, l. IV, p. 2 (*Opera*, VI, p. 342): «Si nulla esset inertia in materia globi coelestis, quae sit ei velut quoddam pondus, nulla etiam opus esset virtute ad globum movendum; et posita vel minima virtute ad movendum, jam causa nulla esset, quin globus in momento verteretur. Jam vero cum globorum conversiones fiant in certo tempore, quod in alio planeta est longius, in alio brevius, hinc apparet, inertiam materiae non esse ad virtutem motricem ut nihil ad aliquid.»

ella o, si se prefiere, que con ella formen un sistema, o una unidad real[72]. Pues bien, gracias a la fuerza magnética de atracción, esa unidad física existe efectivamente: la piedra, las nubes, el aire se encuentran unidos a la tierra, ligados a ella como por lazos, o por cadenas. Esa es la explicación del lanzamiento vertical y de otros fenómenos que, al no conocer esa fuerza, no podían comprender, o explicar, ni Tycho ni sus partidarios[73]. En efecto, éstos no tienen en cuenta la unidad real que forma la tierra con todo lo que le atañe y le pertenece. Imaginan que las cosas que vuelan en el aire están separadas de la acción (magnética) que sobre ellas ejerce la tierra; o, si se quiere, imaginan que la situación física de las cosas cercanas es idéntica a la de los objetos muy alejados. En efecto[74], «aunque la virtud

---

[72] En Kepler, la atracción reemplaza a la unidad o comunidad de naturaleza que había invocado Copérnico.

[73] En efecto, Tycho veía en la gravedad *una tendencia de los cuerpos graves* a ir hacia un lugar determinado; para Kepler, la gravedad es una interacción entre el grave y la tierra, e incluso una pasión mucho más que una acción; cf. Kepler, *Astronomia Nova* ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ *seu Physica Coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis*. Introducción (*Opera*, ed. Frisch, vol. III, p. 151): «Vera igitur doctrina de gravitate his innititur axiomatibus: omnis substantia corporea, quatenus corporea, apta nata est quiescere omni loco, in quo solitaria ponitur extra orbem virtutis cognati corporis.

Gravitas est affectio corporea mutua inter cognata corpora ad unitionem seu conjunctionem (quo rerum ordine est et facultas magnetica), ut multo magis Terra trahat lapidem, quam lapis petit Terram.

Gravia (si maxime Terram in centro mundi collocemus) non feruntur ad centrum mundi, ut ad centrum mundi, sed ut ad centrum rotundi cognati corporis, Telluris scilicet. Itaque ubicunque collocetur seu quocunque transportetur Tellus facultate sua animali, semper ad illam feruntur gravia. Si Terra non esset rotunda, gravia non undiquaque ferrentur recta ad medium Terrae punctum, sed ferrentur ad puncta diversa a lateribus diversis.

Si duo lapides in aliquo loco mundi collocarentur propinqui invicem extra orbem virtutis tertii cognati corporis, illi lapides ad similitudinem duorum magneticorum corporum coirent loco intermedio, quilibet accedens ad alterum tanto intervallo, quanta est alterius moles in comparatione.» Cf. *Carta a Fabricius*, del 11 de octubre de 1605 (*Opera*, vol. III, página 459) y vol. III, p. 511. Es evidente que en esta concepción no hay lugar para la *levedad;* los cuerpos leves no son más que *minus gravia*. Cf. vol. III, p. 152.

[74] Kepler, *Astronomia Nova* ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ, *seu Physica Coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis*, Introducción (*Opera*, vol. III. página 152): «Etsi virtus tractoria Terrae, ut dictum, porrigitur longissime sursum, tamen si lapis aliquis tanto intervallo abesset, quod fieret ad diametrum Telluris sensibile, verum est, Terra mota lapidem talem non plane secuturum, sed suas resistendi vires permixturum cum viribus Terrae tractoriis, atque ita se explicaturum nonnihil a raptu illo Telluris: non secus atque motus violentus projectilia nonnihil a raptu Telluris explicat, ut vel praecurrant, projecta versus orientem, vel destituantur, si

de tracción de la tierra —como se ha dicho— se extienda muy lejos hacia lo alto, lo cierto es sin embargo que si una piedra estuviera a una distancia del orden del diámetro de la tierra y la tierra fuera movida, esa piedra no la seguiría simplemente, sino que sus fuerzas de resistencia se mezclarían con las fuerzas de tracción de la tierra y, de este modo, se libraría en parte del *raptus* de la tierra». Kepler considera que «el movimiento violento libraría en parte a los proyectiles del *raptus* de la tierra de modo que, ora —lanzados hacia Oriente— la precederían, ora —lanzados hacia Occidente— irían a su zaga; y así, obligados por la fuerza, dejarían el lugar de donde son lanzados; y el *raptus* de la tierra no puede de ningún modo impedir esa violencia en los sólidos mientras el movimiento violento esté en su fuerza; pero como quiera que ningún proyectil se aleja de la superficie de la tierra una cienmilésima parte del diámetro de la misma, y como quiera que incluso las nubes y los humos que reciben un mínimo de materia terrestre no se elevan a la milésima parte del radio (terrestre), la resistencia al movimiento y la inclinación al reposo de las nubes, de los humos y de las cosas que son lanzadas verticalmente al aire nada pueden hacer allí; y digo que no pueden hacer nada para impedir el *raptus* porque la fuerza de esa resistencia no es de ningún modo comparable[75] a la del *raptus*. Por eso lo que es lanzado verticalmente al aire cae de nuevo en su lugar, al no ser en forma alguna estorbado por el movimiento de la tierra, ya que

---

in occidentem projiciantur: atque ita locum suum, a quo projecta sunt, vi compulsa deserant: neque raptus Terrae hanc violentiam in solidum impedire possit, quam diu violentus motus in suo vigore est.

Sed quia nullum projectile centies millesimam diametri Terrae partem a superficie Terrae separatur, ipsaeque adeo nubes atque fumi, quae minimum terrestris materiae obtinent, non millesima semidiametri parte evolant in altum: nihil igitur potest nubium, fumorum et eorum, quae perpendiculariter in altum projiciuntur, resistentia et naturalis ad quietem inclinatio, nihil inquam potest ad impediendum hunc sui raptum; utpote ad quem haec resistentia in nulla proportione est. Itaque quod perpendiculariter sursum est projectum, recidet in locum suum, nihil impeditum motu Telluris, ut quae subduci non potest, sed una rapit in aere volantia, vi magnetica sibi non minus concatenata, quam si corpora illa contingeret.

Hisce propositionibus mente comprehensis et diligenter trutinatis, non tantum evanescit absurditas et falso imaginata impossibilitas physica motus Terrae, sed etiam patebit, quid ad objecta physica quomodocunque informata sit respondendum.»

[75] Es la *fuerza del raptus* la que explica la ausencia, o mejor, la poca importancia de la demora. De ello se deduce que si no hubiera atracción o, mejor dicho, tracción del cuerpo grave por la tierra, Aristóteles y Tycho habrían tenido razón. También se deduce que Bruno está equivocado: el caso del navío es muy diferente al de la tierra (véase *infra*, p. 188).

ésta no puede en modo alguno quitarse de debajo, puesto que lleva consigo a todas las cosas que vuelan en el aire, las cuales están tan unidas a ella por la fuerza magnética como si no estuvieran separadas».

«Ahora bien, si estas proposiciones son comprendidas y cuidadosamente sopesadas por el pensamiento, no sólo desaparece el absurdo y la imposibilidad física, falsamente imaginada, del movimiento de la tierra, sino que también se ve con claridad lo que debe responderse a la objeción física, cualquiera que sea el modo en que se formule.»

Kepler estima que su doctrina no difiere de la de Copérnico a no ser por la forma[76].

«Sin duda que le gusta más a Copérnico infundir a la tierra y a todas las cosas terrestres, en cuanto salidas de la tierra, una misma alma motriz que haciendo girar a la tierra, a su cuerpo, hace girar igualmente a las partículas salidas de este cuerpo...» Pero, según Kepler, Copérnico sólo atribuye un alma a la tierra para permitir que «la fuerza de esta alma, difusa en todas las partículas, actúe en el movimiento violento». Por eso la doctrina es, según Kepler, «superabundante»: es inútil suponer facultad anímica allí donde es suficiente la facultad corporal. Entonces dirá Kepler «que la fuerza de la facultad corporal (a la que llamamos gravedad o fuerza magnética) se hace valer en los movimientos corporales llevando los cuerpos atraídos por la tierra y haciéndoles participar de este modo en el movimiento de ésta».

Esta facultad corporal es preferible sin duda a la anímica, de la cual, a decir verdad, Copérnico no dijo nunca una palabra. Fue el propio Kepler el que antaño creyó en el alma de los planetas, y es muy curioso observar que para él la «naturaleza» copernicana y el alma son una misma cosa. Pero no faltaban quienes pensaban que la una no era preferible a la otra, y eran incapaces de comprender y «digerir» las proposiciones keplerianas.

Por ello se ve obligado a volver a la carga y a tratar *ex professo* las objeciones de Tycho.

---

[76] Kepler, *op. cit.*, p. 152: «Etsi Copernico magis placet, Terram et terrena omnia, licet avulsa a Terra, una et eadem anima motrici informari, quae Terram, corpus suum, rotans rotet una particulas istas a corpore suo avulsas: ut sic per motus violentos vis fiat huic animae per omnes particulas diffusae, quemadmodum ego dico, vim fieri facultati corporeae (quam gravitatem dicimus seu magneticam) itidem per motus violentos. Sufficit tamen pro solutis a Terra facultas ista corporea; abundat illa animalis.»

El amigo de Kepler, Fabricius [77], en una carta del 26 de enero de 1605, hace la siguiente pregunta sobre un pasaje de Tycho en su colección de *Cartas* [78] en el que Tycho le informaba de las razones por las que había refutado a Rothmann, quien defendía a Copérnico. He aquí lo que dice Fabricius: «¿Con qué razonamiento quieres tú, partidario de Copérnico, responder al argumento de Tycho sobre el disparo del cañón? Cierto, si el cañón dispara hacia Oriente, la bala, gracias al movimiento más rápido de la tierra, encontrará su lugar de reposo más bien hacia Occidente, y no se podrá mover en absoluto hacia Oriente. Este argumento contra el movimiento diurno de la tierra tiene una fuerza hercúlea. Mas al ser destruido éste, el resto se viene abajo fácilmente». Sin duda. Pero, responde Kepler [79], «...en lo con-

[77] Kepler, *In commentaria de Motibus Martis*, n. 21 (*Opera*, ed. Frisch, vol. III, p. 458): «D. Fabricius in epistola (d. d. 26 jan. 1605) hanc movit quaestionem, spectans locum Tychonis in Epistolarum collectione (p. 189), ubi Tycho refert, quibus rationibus innixus ipse Rothmannum refutaverit Copernicum defendentem. Fabricii verba haec sunt: qua ratione tu Copernico addictus argumentum Tychonis de explosione tormenti solvere vis? Certe si versus ortum cartrana explodatur, fiet ut ob celeriorem motus Terrae emissus globus versus occasum potius locum quietis inveniat, tantum abest ut versus ortum proferatur. Herculeum certe est argumentum adversus motum Terrae diurnum, quo destructo cetera facile cadunt.»

[78] Citado *supra*, p. 172, n. 66.

[79] Kepler, *op. cit.*, pp. 458 ss: «De objectione Tychonis, qui tormento impugnat motum Terrae, rogas eadem quae Cancellarius Bavariae nuperrime. Respondeo eadem, misceri motus, non impugnari aut aboleri alterum ab altero. Terra movetur ab occasu in ortum, cum ea omnis copia aeris circumfusi, omne grave, sive jacens sive pendens. Nam cur non et pendens quid impedit? Num gravitas? At ea tendit ad centrum Terrae, ad centrum faciei Telluris, quae lapidi est exposita, quod vi magnetica lapidem attrahit fortius quam si centum catenarum nervorum tensissimorum vinculis quaquaversum esset annexus Tellurí. Nam igitur impediet ipsum aer, qui est trajiciendus? At Terram et ipse sequitur, saltem in hac propinquitate. Quid igitur impedit? Nihil tu potes ostendere. Ergo quid impediat ostendem, sed simul et respondebo. Quodcunque materiatum corpus se ipso aptum natum est quiescens, quocunque loco reponitur. Nam quies ut tenebrae privatio quaedam est, non indigens creatione, sed creatis adhaerens, ut nullitas aliqua: motus vicissim est positivum quippiam ut lux. Itaque si lapis loco movetur, id non facit ut materiatum quippiam, sed ut vel extrinsecus impulsus vel attractus vel intrinsecus facultate quadam praeditus ad aliquid respiciente. Hanc dicunt Aristotelici appetendem centri mundi. Nego, sic enim vere impediretur sequi Terrae motum. Probent, scio, futiles ipsorum probationes ab ignis natura contrarii, quae est *petitio principii*. Nam ignis non petit coelum, sed fugit Terram... Ergo aliter ego definio gravitatem, seu illam vim, quae intrinsece movet lapidem, vim magneticam coagmentantem similia, quae eadem numero est in magno et parvo corpore, et dividitur per moles corporum accipitque dimensiones easdem cum corpore. Itaque si lapis aliquis esset pone Terram positus in notabili aliqua proportione magnitudinis ad molem Telluris, et casus daretur, utrumque liberum esse ab

cerniente al argumento de Tycho, quien combate a cañonazos el movimiento de la tierra, me preguntas lo mismo que recientemente me preguntó el canciller de Baviera. Respondo lo mismo: que los movimientos se combinan y que el uno no estorba ni anula al otro. La tierra se mueve de Occidente a Oriente y con ella se mueve toda la masa de aire que la rodea, y todo grave, ya esté posado sobre la tierra o suspendido en el aire. En efecto, ¿por qué no el grave suspendido en el aire? ¿Qué es lo que lo impide? ¿La gravedad? Pero ésta tiende hacia el centro de la tierra, hacia el centro de la faz de la tierra que está opuesta a la piedra; y la tierra, por una fuerza magnética, atrae a la piedra con mayor fuerza que si estuviera atada a ella por cien cadenas y por los nervios más tensos. ¿Lo impediría el aire que debe atravesar? Pero el propio aire sigue a la tierra, al menos en esta proximidad. ¿Qué es, pues, lo que lo impide? No puedes invocar nada. Bien, voy a mostrarte lo que impide [a la piedra seguir el movimiento de la tierra]; y al mismo tiempo responderé [a las objeciones].

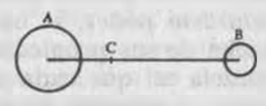
»Todo cuerpo material es en sí y por naturaleza inmóvil y está destinado al reposo, en el lugar que sea. Pues el reposo, al igual que las tinieblas, es una especie de privación, que no exige creación sino que pertenece a las cosas creadas como cierta huella de la nada; en cambio el movimiento es, como la luz, algo positivo. De modo que si la piedra se mueve localmente no lo hace en cuanto es material sino en cuanto [es cuerpo, es decir, se mueve ora en cuanto] es empujada o atraída extrínsecamente por algo, ora en cuanto está dotada intrínsecamente de cierta facultad de tender hacia algo. Los aristotélicos dicen que tiende hacia el centro del mundo. Lo que yo niego, pues de ser así se vería realmente impedida de seguir el movimiento de la tierra. Sé bien que alegan pruebas fútiles, basadas en la naturaleza contraria del fuego, lo que es una petición de principio. Pues el fuego no busca el cielo, sino que huye de la tierra[80]. Es la razón por la que defino a la gravedad, es decir, a

---

omni alio motu: tunc ego lico futurum, ut non tantum lapis ad Terram eat, sed etiam Terra ad lapidem, dividantque spatium interjectum in eversa proportione ponderum, sitque ut A ad B causa molis, sic BC ad CA et C locus ubi jungentur, plane ea proportione qua statera utitur.»

[80] Se ve hasta qué punto Kepler es aristotélico; ¡el reposo es una privación, el movimiento es algo positivo! El fuego huye de la tierra: la misma doctrina que en Copérnico o en el joven Galileo (cf. *supra*, páginas 28 ss., 63 ss.). Pero la noción de la gravedad supone un progreso sensible. La gravedad kepleriana es connatural a la materia, es una fuerza universal común a los cuerpos y *proporcional a su masa*, y no ya una vaga tendencia de los semejantes a reunirse. O, si se prefiere, para Kepler, como para Galileo, todos los cuerpos son «semejantes».

esa fuerza que mueve a la piedra intrínsecamente, como una fuerza magnética que reúne a los semejantes, que es numéricamente la misma en el cuerpo grande y en el pequeño, y que se divide conforme a las masas de los cuerpos y toma la misma dimensión que los cuerpos. Así pues, si estuviera situada cerca de la tierra una piedra cuya masa tuviera dimensiones comparables a las de la tierra y las dos estuvieran libres de todo otro movimiento, entonces, digo, ocurriría que no sólo la piedra iría hacia la tierra, sino también la tierra hacia la piedra, y ambas dividirían el espacio que las separa en proporción inversa a sus pesos; si la proporción entre las masas es como A a B, la proporción entre BC y CA será la misma, y C será el lugar del encuentro; es, con toda evidencia, la proporción que siguen los brazos de la balanza.»



Pero volvamos a la cuestión[81]. «Digo que si, mentalmente, retiras esta facultad que une a los semejantes, no quedará en la piedra más que la pura impotencia de cambiar de lugar. Entonces, para que sea expulsada de allí se necesitarán una fuerza

[81] Kepler, *op. cit.*, p. 459: «Sed contrahe vela. Dixi, si a lapide removeas animo facultatem illam jungendi similia, remansuram in lapide meram impotentiam ad mutandum locum. Ut igitur illa expugnetur, vi et contentione extranea opus est. Dum ergo fingimus lapidem in aere pendentem, negamus ei vim conjungendi similia, hoc est gravitatem, et tamen eam vim Terrae in lapidem relinquimus. Esto hoc ita, quamvis re vera absurdum sit, tantummodo ut nobis casus constet. Habebit igitur pendulus iste lapis adhuc vim quiescendi in suo loco, ea repugnabit virtuti. Telluris circumacturae. Ex pugna materialium et corporearum proprietatum fiet permixtio, ut quaelibet vincatur et vincat vim suam corporum proportione. Itaque hinc evincitur, quod dixi me indicaturum, impedimentum nempe, quo minus pendulus hujusmodi lapis perfectissime sequi possit circularitatem Telluris. Atque hoc impedimentum est verissimum. Quare jam destruamus casum nostrum fictitium et sint illae lineae a superficie Terrae in lapidem tendentes non tantum ut fulcra, sed vere id quod per naturam nobis indicatur, nempe instar nervorum tensissimorum, sic ut lapis iste in actu descensus ad superficiem et centrum Terrae: dico, propter hanc impotentiam ad motum omnino futurum, ut lapis hic in descensu nonnihil aberret a perpendiculo ex centro Terrae per superficiem in centrum lapidis ducto et sic Terra ab occasu in ortum eunte, lapidis perpendiculum paulatim in occidentales superficiei partes deveniet: nec Terram omnimode sequetur, sed ab ea relinquetur. Habes causam cur lapis non debeat sequi Terram, qualem tu ad tuae sententiae confirmationem non potuisti dicere. Audi nunc solutionem. Verum est, si lapis notabili intervallo a Terra distaret, fore ut hoc accidat. At nunc sunt 860 milliaria a centro ad superficiem, et vero nulla avis tam alte volat ut dimidium unius milliaris absit a solo; sane quia in aetere non magis apta est volare, quam nos in aere, quam lapis in aqua aptus est natare.»

y una contención exterior. Ahora bien, cuando nos imaginamos a una piedra suspedida en el aire, le negamos la fuerza de unir a los semejantes, es decir, la gravedad, y no obstante dejamos que esta fuerza de la tierra actúe sobre la piedra. Admitamos que sea así, aunque en realidad esto sea un absurdo; lo hacemos únicamente para aclarar nuestro caso. Esta piedra suspendida en el aire tendrá, pues, el poder de permanecer en su lugar y, con este poder, se opondrá a la virtud motriz de la tierra. La lucha de sus propiedades materiales y corporales producirá una mezcla tal que cada una de las fuerzas vencerá y será vencida en la proporción de los cuerpos.

»De aquí pues, proviene el efecto que he prometido explicar, a saber, el impedimento merced al cual una piedra de este género, suspendida en el aire, no puede seguir perfectamente el circuito de la tierra. Y este impedimento es muy real. Vamos pues a destruir nuestro caso ficticio. Admitamos que los lazos tendidos entre la superficie de la tierra y la piedra no sean como cuerdas sino verdaderamente tal como nos indica la naturaleza, es decir, semejantes a nervios muy tensos, de tal forma que dicha piedra descienda, en realidad, hacia la superficie y el centro de la tierra: digo que, como resultado de su impotencia inherente al movimiento, la piedra, en su descenso, se desviará necesariamente un poco de la vertical que va del centro de la tierra, a través de su superficie, al centro de la piedra. Por ello, al moverse la tierra de Occidente hacia Oriente, la vertical de la piedra [la línea de caída] se desviará algo hacia las partes occidentales de la superficie terrestre; y la piedra no seguirá enteramente a la tierra, sino que irá a su zaga. He aquí, pues, la causa por la cual la piedra no debe seguir a la tierra, causa de la que tenías necesidad para confirmar tu opinión, y que no podías señalar.»

«Escucha ahora la solución. Es verdad que si la piedra estuviera a una distancia notable de la tierra sucedería esto. Pero hay 860 millas del centro [de la tierra] a su superficie; ahora bien, en realidad ningún pájaro vuela tan alto que se distancie más de media milla de la tierra; pues el pájaro no es más capaz de volar en el éter que nosotros en el aire o que la piedra de flotar en el agua.» De esto concluye Kepler que el retraso debido a la resistencia de la piedra al movimiento[82] de arrastre será mínimo, y prácticamente imperceptible. El error de Tycho radica, pues, en no comprender la naturaleza de la gravedad y,

[82] Se ve que la resistencia al movimiento, la «impotencia» de la materia es algo muy positivo; es incluso proporcional a la masa, como la atracción. Cf. E. Meyerson, *Identité et réalité*, 3.ª edic., ap. III, pp. 534 ss.

en consecuencia, en equivocarse con respecto a su acción. Efectivamente, Tycho, como todos los aristotélicos, cree que la gravedad es una tendencia propia de la *piedra,* tendencia que la lleva *hacia un lugar.* Ahora bien, en realidad es una fuerza que tiene su asiento en las partes de la materia en cuanto ésta se realiza en los cuerpos, una fuerza que está en la piedra, pero también en la tierra. E incluso, *prácticamente,* tiene su asiento en la tierra y *atrae* a la piedra desde fuera[83]. Por ello, la tierra, al moverse, tira hacia sí y la obliga a seguirla en su movimiento. En cuanto a la resistencia de la piedra, en la práctica no desempeña ningún papel, puesto que la relación de fuerzas es igual a la de las masas corporales. Así, como se ve, es una *acción física real* y, no un *estado mecánico* —el del movimiento— lo que explica que la piedra caiga al pie de la torre, y que la bala de cañón, disparada verticalmente al aire, caiga de nuevo al sitio de donde partió. En cuanto a la analogía que Tycho trata de establecer entre el movimiento horizontal del obús, movimiento que le impide caer, y aquél, más rápido aún, que la bala de cañón poseería si participara en el movimiento circular de la tierra, esta analogía no existe, ya que la participación en el movimiento de la tierra, es decir, el arrastre de la bala, es debido precisamente a la atracción de la pesantez. Además, de nuevo aquí la relación de las fuerzas es como la de las masas, y por grande que sea la fuerza de la explosión de la pólvora no es nada si se la compara con la de la atracción terrestre. Por eso Kepler prosigue[84]:

---

[83] A pesar de la equivalencia matemática de las dos concepciones, Kepler, como Newton, no cree que el cuerpo grave *tiende hacia* el otro cuerpo, sino que es *atraído por* él.

[84] Kepler, *op. cit.*, p. 461: «Nunc tandem ad tormentum Tychonicum. Cum demonstratum sit, lapidem in perpendiculo cadentem non debere illam lineam egredi in casu, jam facile expeditur et globus tormenti (lapis in obliquum jactus; nubes vento impulsa: avis in aëre volans). Nempe illud verum est, quod statim initio coepi dicere, misceri motum utrumque, et eum qui a Tellure est in globo, et eum qui a tormento. Itaque et miscentur spatia. Nam respectu totius universi plane plus spatii conficitur eodem tempore, cum globum in ortum ejaculamur, quam cum in occasum; quia illic et Terra in ortum tendit, hic Tellus derogat motui in occasum, volvens globum in ortum. Imo vero plane nunquam ullus globus respectu totius universi in partem tendit contrariam viae Telluris, quia Tellus multo est celerior quam ullius globi jactus. Quod vero spatium in ipsa Telluris superficie attinet, cum quiescens lapis, quamvis in aere pendens, demonstratus sit plane sequi debere Terram, omnino etiam eadem vis per idem Telluris spatium tam in ortum quam in occasum abripiet globum. Nam quacunque globum impellat, invenit eandem vim lapidis attractricem, eundem etiam effectum promotionis lapidis. Si autem supra casus lapidis in perpendiculo aberasset sensibiliter a suo perpendiculo, sane etiam hoc fieret, ut brevius esset spatium jactus in occasum quam in or-

«Vamos pues, ahora al cañón de Tycho. Puesto que está demostrado que la piedra que cae verticalmente no debe, en su caída, desviarse de esta línea, es fácil explicar lo de la bala de cañón [lo de la piedra lanzada oblicuamente, lo de las nubes empujadas por el viento, lo del pájaro que vuela en el aire]. En efecto, lo que dije al principio resulta ser verdad: los dos movimientos existentes en el obús, el que proviene de la tierra y el que procede del cañón, forman una mezcla. Por eso los espacios se combinan igualmente. En efecto, cuando lanzamos la bala de cañón hacia Oriente hay sin duda, *con relación al Universo,* más espacio recorrido en el mismo tiempo que cuando la lanzamos hacia Occidente. Pues mientras que en el primer caso la tierra tiende también hacia Oriente, en el segundo la tierra se opone a su movimiento hacia Occidente, llevando a la bala hacia Oriente. Asimismo está claro que, con respecto a todo el Universo, la bala de cañón nunca tiende a ir en dirección contraria a la marcha de la tierra, pues el movimiento de la tierra es mucho más rápido que el del lanzamiento de una bala. Pero en lo que concierne al espacio en la superficie de la propia tierra, no sucede lo mismo: puesto que hemos demostrado que la piedra inmóvil, aunque suspendida en el aire, debe seguir a la tierra, de ello se deduce que la misma fuerza arrojará a la bala a través del mismo espacio de la tierra hacia Oriente y hacia Occidente. Pues de cualquier lado que empuje a la bala, ésta encontrará el mismo poder atractivo que encuentra la piedra, y también el mismo efecto de promoción de la piedra. Pero si —como se ha visto anteriormente— la caída de la piedra por la vertical se desviara sensiblemente de ésta, resultaría efectivamente que el espacio del lanzamiento hacia Occidente sería más corto que hacia Oriente. Sin embargo eso no ocurriría por la causa que alega Tycho, sino por la misma que cuidadosamente he explicado aquí.»

Kepler cree haber respondido perfectamente tanto a las objeciones clásicas como a las recientes. En realidad está lejos de haberlo hecho. Pues, al igual que en la respuesta de Copérnico, si el arrastre del obús, de la piedra, de las nubes, etc., hacia Oriente se halla explicado, no lo está, en absoluto, su movimiento libre tanto hacia Occidente como hacia Oriente. Se podría incluso decir que resulta completamente imposible. Ciertamente, ¿cómo un lanzamiento, por violento que pueda imaginarse, podría prevalecer sobre el enorme poder de las «cade-

tum; non quidem ob causam a Tychone allegatam, sed ob hac ipsam quam ego diligenter hic explicui.»

nas» de la atracción terrestre? Por ello no es de extrañar que Fabricius, nada convencido, vuelva a la carga.

Y que Kepler, un poco irritado, responda de nuevo[85]: «Quieres —escribe a su amigo— que te explique la solución del argumento de Tycho contra el movimiento de la tierra. No es tan fuerte como la percusión de esta máquina [el cañón]. Está claro que coincide con la famosa objeción: ¿cómo es que —si mientras tanto se desplaza la tierra— la bala de cañón enviada hacia arriba cae de nuevo en el mismo lugar?[86]. Hay que responder que no sólo la tierra se desplaza mientras tanto, sino que también lo hacen, con ella, las cadenas magnéticas e invisibles por las cuales la piedra está unida a las partes subyacentes y contiguas a la tierra, y por las cuales la piedra es atraída hacia la tierra por el camino más corto, es decir, la vertical. Ahora bien, en el caso del movimiento violento hacia arriba, todas las cadenas se tensan más o menos por igual; al contrario, son las cadenas occidentales las que se tensan cuando la bala, por efecto de la fuerza del cañón, es lanzada hacia Oriente, y las orientales cuando los vapores empujan a la bala hacia Occidente. Ahora bien, el movimiento conjunto de la tierra y de todas las cadenas no representa ninguna ayuda en un caso, ni impedimento alguno en el otro. En efecto, la violencia del movimiento que proyecta a la bala cae dentro del complejo de todas las cadenas, que son tan fuertes que el viento contrario más fuerte nada puede contra ellas; con mayor razón, pues, el aura bonancible que gira con la tierra».

Se ve muy bien cómo se representa, o se imagina, Kepler la situación: la piedra suspendida en el aire está unida a la Tierra por una infinidad de «cadenas» o «nervios» elásticos. Su

---

[85] Kepler, *Carta a Fabricius*, 10 de noviembre de 1608 (*Opera*, vol. III, página 462): «Cupis tibi declarari solutionem argumenti Tychonici contra motum Terrae. Non est ita horribile, ut illius machinae ictus. Plane coïncidit cum illa objectione, cur globus sursum missus ad perpendiculum recidat ad locum eundem, si Terra interim abit. Respondendum enim, non tantum Terram interim abire, sed unam cum terra etiam catenas illas magneticas infinitas et invisibiles, quibus lapis alligatus est ad partes Terrae subjectas et circumstantes undique, quibusque retrahitur proxima id est perpendiculari via ad Terram. Quemadmodum igitur hic vis infertur catenis illis a motu violento sursum, quo fiet ut omnes illae aequaliter quasi extendatur, ita quoque vis infetur catenis occidentalibus, cum globus el tormenti in orientem truditur, et vis infertur orientalibus, cum vapor globum protrudit in occidentem. Nihil nec impedit hic nec illic promovit motus universalis Telluris et catenarum omnium. Nam haec motus violentia, quae globum projicit, versatur intus in complexu catenarum omnium, quae tam sunt fortes, ut parum contra illas possit etiam ventus validissimus contrarius, nedum aura quieta et cum Tellure circumiens.»

[86] Kepler no tiene toda la razón: como hemos demostrado más arriba, el argumento de Tycho no es del todo idéntico al viejo argumento aristotélico.

conjunto forma un cono cuya cúspide está ocupada por la piedra. De este modo es atraída por todos lados; pero las «cadenas» oblicuas, que tiran con fuerzas iguales, se neutralizan mutuamente: por eso la resultante de todas estas tracciones está dirigida verticalmente hacia «abajo», o sea, hacia la tierra. Tratemos de empujar la piedra hacia arriba: la tensión de todas las cadenas se opondrá a que lo hagamos; tratemos de empujarla a la derecha o a la izquierda: no tendremos que vencer sino la resistencia de la mitad de las cadenas en cuestión. Pero cualquiera que sea la dirección del movimiento horizontal, el número de cadenas, y por consiguiente la resistencia, serán siempre los mismos. Por supuesto, si la tierra gira, las cadenas que arrastran (las orientales) estarán un poco más tensas que las otras. Pero la diferencia es muy pequeña: en efecto, la resistencia propia, la *inercia* de la piedra, no es del orden de magnitud de la fuerza de atracción de la tierra. Prácticamente no hay que tomarla en consideración. Sería completamente distinto si no hubiera atracción, en cuyo caso, por lo demás, las cosas ocurrirían de forma totalmente diferente de lo que piensa Aristóteles, pues está claro que[87] «si no hubiera tales cadenas, la piedra quedaría suspendida en el éter mientras que la tierra se desplazaría, y no tendría ninguna razón para caer». Así pues, la presencia de cadenas atractivas explica tanto la caída como el arrastre del proyectil, y el efecto de la *inercia* es tanto menor cuanto que ni la longitud de la trayectoria ni la velocidad del movimiento de la bala de cañón son del orden de la magnitud del diámetro terrestre y de la velocidad de rotación de la tierra y de las cadenas de la virtud magnética. «Ahora bien, como esto es así, y como es la convicción de mi alma, que nadie me pida que traicione a la verdad para conseguir el favor del vulgo.» ¡Qué le vamos a hacer si el mundo no acepta la luz de la verdad! Kepler se resignará. Sabe que las tinieblas pueden prevalecer: ¿acaso no engulló la noche del error la luz encendida por Aristarco de Samos? Pero Kepler se muestra también lleno de confianza. ¿Acaso no resurgió la obra de Aristarco en la de Copérnico? *Magna est veritas et prevalebit.* Prevalecerá —así al menos lo espera Kepler— incluso en el pensamiento de Fabricius,

---

[87] *Ibid.*, p. 462: «Si vero nullae tales essent catenae, remaneret sane lapis in aethere pendulus abeunte Terra, nec recideret ulla ratione. Facit ad hanc considerationem et hoc, quod nullus jactus, neque quoad lineae longitudinem sensibilis est ad Telluris diametrum, neque quoad motus pernicitatem Telluris catenarumque seu virtutis magneticae. Sic igitur cum habeat hoc negotium et animi mei sententia, noli a me petere, ut veritatem prodam ad comparandum vulgi favorem. Si consuli arti non potest nisi per fraudes, pereat sane: reviviscet nempe.»

quien cesará de dejarse engañar por objeciones ridículas; por ello prosigue incansablemente Kepler[88]:

«Tu argumento de los vientos imita visiblemente a la naturaleza, y tiene el mismo peso. En efecto, admito lo que hay de justo en tu razonamiento: si la tierra se moviera a través del aire inmóvil tendrías derecho a objetar la experiencia de los vientos. Pero el vapor, la materia de los vientos, se encuentra dentro del campo de la virtud magnética de la tierra; y, como es de sustancia tenue, no es fuertemente atraída hacia la tierra, motivo por el cual es fácilmente transportada y arrancada por cualquier fuerza a los lazos magnéticos de la tierra. Pues la virtud magnética posee su mayor poder en su propio asiento, es decir, en la tierra, ya que ahí está el cuerpo más denso, pero se debilita en el objeto formado de materia más rarificada. Puede servirnos de ejemplo una comparación con la fuerza que produce el movimiento violento. Un muchacho que lanza una piedrecita la lanza muy lejos. Pero incluso poniendo en ello todas sus fuerzas no conseguirá nunca lanzar tan lejos una piedra pómez del mismo tamaño.

»Volvamos, sin embargo, a los vapores: son llevados por la tierra, es decir por su virtud magnética, tras los lugares subyacentes, y de este modo están en reposo con respecto a dichos lugares mientras no son empujados por alguna causa»; en este último caso se mueven con mucha facilidad a través de las cadenas magnéticas, sin importar la dirección. Pues, explica Kepler, si se estudia el movimiento de los cuerpos dentro del campo de la gravedad terrestre, lo único que importa es el recorrido terrestre, el número de cadenas magnéticas atravesa-

---

[88] *Ibid.*, pp. 462 ss.: «Objectio tua a ventis plane ventorum naturam imitatur, nihil efficit nisi strepitum. Quidquid enim de ventis tute ipse judicas et ego judico: si Tellus per vapidum aërem moveretur, jure objiceres ventorum experimentiam. At nunc vapor, materia ventrorum, consistit intra complexum virtutis magneticae Telluris; cumque sit substantiae tenuis uti non valde attrahitur ad Terram, sic facile transfertur at abripitur a qualicunque virtute magnetica Telluris. Nam vis magnetica fortissima quidem est ratione suae propriae sedis, nempe Telluris, corporis densissimi: illa tamen langescit in objectu materiae rarioris. Exemplo sit vis illa motus violenti auctor. Puer manu projiciens lapillum propellit illum quam longissime. Idem totis viribus connixus, ut pumicem ejusdem molis eodem projiciat, scopum nunquam assequetur. Sed ad vapores redeo. Illi igitur asportantur cum locis Terrarum sibi subjectis a virtute magnetica Telluris, et sic quiescunt incumbentes iisdem Terrarum locis, quantisper non a causis aliquibus impelluntur, quae causae ex eodem cum ipsis origine nascuntur. Impulsi vero ab iis causis, quae ventum faciunt, facillime a catenis illis magneticis avelluntur in plagam quamcunque, idque aequali spatio, si causa aequalis. Quippe in eorum motu non consideratur longitudo tractus per aetherem, sed multitudo catenarum seu longitudo tractus Terrarum.»

das y no la distancia absoluta en el éter. Y, recordando inoportunamente el famoso ejemplo bruniano del navío, Kepler añade[89]: «En efecto, para pasar por el éter no les es necesario a los cuerpos un esfuerzo propio, es suficiente la virtud de la tierra, o la del navío. Así pues, el ejemplo del navío y de los movimientos de los pasajeros por él transportados es plenamente válido, con una diferencia: el navío no atrae por virtud magnética a las cosas transportadas, sino que las lleva por el mero contacto, mientras que la tierra las atrae también en virtud de la gravedad que no comunica al movimiento del navío; al contrario, el éter no atrae a los vapores ni a los proyectiles, de forma que sólo son atraídos por su navío, es decir, por la tierra». Por eso cuando los cuerpos se separan de los lugares de la tierra hacia los cuales tienden por los momentos de la gravedad, «sus movimientos no están afectados por el movimiento de la tierra como lo están las proyecciones de los cuerpos a consecuencia del movimiento del navío; pues no tienden hacia ninguna región del éter, sino que sólo son atraídos por el plano subyacente de la tierra mediante cadenas magnéticas»[90].

Se ve que Kepler no admite el punto de vista puramente *mecánico* de Bruno; no admite que el movimiento continúe y se prolongue en el móvil, y no admite, en fin, que el hecho de participar en el movimiento común cree un lazo entre las cosas y las separe, *sólo* por esto, del resto del Universo. La noción de sistema mecánico no existe para Kepler, quien no conoce más que el sistema físico, la unidad real, los lazos o las ligaduras *reales*. El navío es una cosa, la tierra es otra. Prácticа-

---

[89] *Ibid.*, p. 463: «Nam ad trajiciendum per aetherem non indigent sua opera, contentae virtute Telluris, seu navi. Adeoque genuinum est exemplum navis et vectorum in ea discursatium, nisi quod vectores navis non attrahit magnetica virtute, sed solo contactu rapit, eosdem vero Tellus adhuc attrahit per gravitatis virtutem, quam Tellus non communicat motu navis, vapores vero et projectilia non attrahit aether, itaque a sola sua navi (id est a Tellure) attrahuntur. Non itaque ut in navi ex motu navis contingunt corporum jactationes, dum abripiuntur corpora a locis iis Terrarum, ad quae tendunt, gravitatis momentis, non, inquam, sic etiam jactari necesse est corpora nostra, dum a Terra abripiuntur, neque enim tendunt ea ad ullam partem aetheris, sed ad solius Terrae subjectum planum per catenas magneticas attrahuntur: quo fit demonstratione geometrica, ut ad centrum tendant gravia; etsi non tendunt ad centrum tanquam ad rem geometricam, sed tanquam ad medium corporis rotundi. Nisi enim Terra rotunda esset, ad idem ejus commune punctum omnia gravia non tenderent.»

[90] Kepler quiere decir que al dejar la punta del mástil del navío en movimiento, el grave sufre la acción de arrastre de las «cadenas» de la gravedad terrestre, que no están ligadas al navío; Bruno se equivoca, pues, ya que el movimiento del navío afecta necesariamente a las proyecciones que se hacen en él.

mente, sin duda, la diferencia es imperceptible, y Tycho se equivoca en ambos casos. Pero teóricamente la diferencia sigue en pie. Teóricamente, filosóficamente, Tycho tiene razón. Ontológicamente, el movimiento y el reposo no están al mismo nivel. El movimiento es un ser. El reposo no es sino una privación.

Lo que, por otra parte, reconozcámoslo, se ajusta a la experiencia y al sentido común: ¿cómo explicar de otra manera que se precise una fuerza o un esfuerzo para poner en movimiento a los cuerpos y que esa fuerza deba ser proporcional al cuerpo o a su masa? ¿Cómo, si el cuerpo material fuera indiferente al movimiento y al reposo, se podría comprender que haga falta un esfuerzo *mayor* para proporcionarle un movimiento *más rápido* o para poner en movimiento a un *cuerpo mayor.*

¿Y cómo negar que el movimiento, mucho más que el reposo, tenga necesidad de una causa que lo explique? De hecho, nadie, salvo quizá Descartes, se ha preguntado nunca por qué hay reposo en el mundo; por el contrario, todo el mundo ha buscado siempre la causa o fuente del *movimiento.* Nadie —excepto Descartes— ha formulado jamás la noción de la cantidad de reposo; todo el mundo ha hablado siempre de la cantidad de movimiento.

Kepler no cambió nunca sus ideas acerca de este punto. Pudo pasar de un vitalismo o animismo cósmico a una concepción «física», pudo geometrizar la materia hasta quitarle, en cuanto tal, toda propensión al movimiento, pero no admitió nunca la equivalencia ontológica entre el movimiento y el reposo, y la indiferencia de la materia con respecto al uno y al otro. Para él, la inercia fue siempre una fuerza de *resistencia al movimiento.* No fue nunca, como para Galileo o Descartes, una simple persistencia en un estado, puesto que para él el movimiento no fue nunca un *estado.* Por eso, la exposición del *Epitome astronomiae Copernicanae* sigue fielmente las líneas maestras de la teoría desarrollada en la *Astronomia nova.*

Aquí también vemos aparecer el célebre argumento de los cuerpos lanzados al aire[91]: «Si la Tierra gira alrededor de su

[91] Kepler, *Epitome astronomiae Copernicanae,* l. I, p. V, *Opera,* vol. VI, página 181: «Si Terra volveretur circa axem, tunc ea, quae recta sursum projiciuntur, non reciderent in locum pristinum, unde sunt projecta, quippe centro quidem persistente, loco vero superficiei, in quo stat projiciens, interim *se subducente ex linea ducta ex centro Telluris ad projectile.* Si gravia centrum per se peterent nihilque praeterea, sequeretur argumentum. Ut dictum in priori themate, motus gravium scopum non esse centrum per primo, sed per accidens et secundario, quia scilicet centrum est medium et intimum corporis, quod gravia per se et primo petunt et a quo gravia attrahuntur.

Cum autem gravia petant Terrae corpus per se petanturque ab illo, for-

eje, los objetos proyectados verticalmente hacia arriba no caerían de nuevo en su antiguo lugar, de donde fueron proyectados, porque, al permanecer inmóvil el centro, el lugar de la superficie de la tierra donde se sitúa el que proyecta se alejaría entre tanto de la recta que va del centro de la tierra al proyectil. Si los graves tendieran hacia el centro en cuanto tal [*per se*] y en sí, el argumento sería concluyente. Pero en el párrafo anterior se ha dicho que la meta del movimiento de los graves no es el centro en primer lugar y en sí, sino sólo por accidente y en segundo lugar, es decir, que los graves sólo van al centro porque el centro es el medio y lo más interior del cuerpo que los graves buscan en sí y en primer lugar, y por el cual son atraídos.

»Ahora bien, como los graves buscan el cuerpo de la tierra en cuanto tal [*per se*] y son buscados por éste, se mueven con más fuerza hacia las partes más cercanas a la tierra que hacia las más alejadas. Es la razón por la cual cuando las partes más cercanas, situadas verticalmente debajo, están en traslación, los graves que descienden hacia esta superficie móvil la siguen, además, circularmente, lo mismo que si estuvieran unidas al lugar sobre el que se encuentran por la vertical, así como por una infinidad de líneas o nervios oblicuos, menos fuertes éstos que aquélla, que se contraen, poco a poco, en sí mismos.

»Pero se ha dicho que por su inercia natural los cuerpos materiales se oponen al movimiento que les es conferido desde fuera; mas si esto fuese cierto se deduciría que los graves se librarían en parte del *raptus* y del lazo vertical, al igual que de los otros lazos. En efecto, se librarían en parte si se alejaran de la tierra a una distancia comparable al semidiámetro de ésta o al menos al del horizonte visible»; pero como esto no ocurre jamás, el retardo será del todo insensible, ya que la fuerza de tracción de la tierra es inconmensurablemente mayor que la de la inercia. En cuanto a la objeción de Tycho Brahe, Kepler la cita fielmente una vez más[92]: «Las balas de cañón, lanzadas

---

tius itaque movebuntur versus partes viciniores Terrae, quam versus remotiores. Quare transeuntibus illis partibus vicinis perpendiculariter subjectis, gravia inter decidendum versus superficiem transeuntem illam insuper etiam circulariter sequentur, perinde ac si essent alligata loco, cui imminent, per ipsam perpendicularem, adeoque per infinitas circum lineas, ceu nervos quosdam obliquos, minus illa fortes, qui omnes in sese paulatim contrahi soleant.

Atqui dixisti, corpora materiata naturali sua inertia reniti motui sibi ab extra illato; id si verum est, gravia igitur extricabunt sese nonnihil ex hoc raptu exque suo illo perpendiculo ceterisque vinculis. Extricarent sese nonnihil, si abscederent a Terra intervallo tanto, quod ad semidiametrum Terrae vel saltem horizontis visibilis proportionem haberet sensibilem.»

[92] Kepler, *Epitome astronomiae Copernicanae*, l. I, p. v, vol. VI, pp. 18[illegible] siguientes: «At saltem emissi globi bombardici, alter in ortum, alter in occa

una hacia Oriente y otra hacia Occidente, caen a distancias desiguales del primer lugar [del disparo]; y estas distancias son mayores hacia Occidente porque las partes de la tierra situadas hacia Occidente, al tender hacia Oriente, irán al encuentro de la bala; y son menores hacia Oriente porque las partes orientales de la tierra, donde habría caído la bala si hubieran permanecido inmóviles, huyen de la bala hacia Oriente».

---

sum, cadent inaequalibus intervallis a loco primo; longius in occasum, quippe partes Terrae versus occasum sitae obviabunt globo, tendentes in ortum, brevius in ortum, quia partes orientales Terrae, in quas, si immobiles starent, globus fuerat casurus, fugiunt globum versus ortum. Non recte fit, quod comparantur spatia mundi, quasi Terra longissime absente ab emisso globo, cum de hoc solo agatur, pormum quod alter tenet manibus, quorsum ei facilius excutiatur a socio ejusdem navis vectore, non quam longe a navi aut per quantum spatium inter navem et litora. Nam si litora consideres, quantum fugit navis a loco superiore, in quem excutitur pomum, tanto fere langidior, respectu litorum quiescentium, est excussio, cedente quippe deorsum, quod excutienti substernitur, enervata resistentia; ita quod erat defluxus navis adjecturus saltui pomi, detrahit iterum cessio ejus, quo nitebatur flictus. Et vicissim, quod erat pernicitas navis praereptura saltui pomi deorsum, hoc addit resistentia fortior violentiae flictus; fortius enim deursum excutit vis eadem, cum a navi deorsum et rapitur, quam cum in litore stat immobilis. At cum, ut par est, vires nudae considerantur manus pomum prehendentis ipsiusque pomi pondus, vis equidem infertur utrinque eadem, nihil ad hanc magnitudo effectus, qui foris extra navem, compositis causis, est secuturus, etsi respectu navis solius (non etiam litorum) idem proxime futurum est ab ipsa intervallum.

Idem igitur judicium mutatis mutandis et de bombardis esto. Equidem globus magnus, duobus minutis horae unius perdurans in volatu per aerem, trajicit in occidentem per unum milliare Germanicum in Terra, interimque Terra, subjecta aequatori, obviat per octo milliaria; quare respectu spatii mundani rapitur globus adhuc in contrariam motus violenti plagam, scilicet in orientem, septem milliaribus nihilque prodest ei aliud explosio in contrarian plagam, nisi quod octavum milliare absumit facitque, ut globus tardius in orientem sequatur; excutere non potest pulvis globum penitus veluti de manibus Telluris, semper ille in virtute trahente haeret irretitus; si rupit prehensionem indicis, haeret in prehensione succedentis minimi digiti. E contra globus, in orientem emissus ejusdem temporis intervallo, promovetur raptu ipsius Terrae pro octo milliaria additque nonum ipse, violenter quippe explosus itidem in ortum. Ita sive in orientem sive occidentem explodatur, semper in orientem fertur, tantum paulo plus hic quam ille. At hoc compositum spatium mundanum nihil attinet ad spatium in Terra, quod homines metiri possunt; hoc utrinque fere idem est, quia vis eadem, quia vincula magnetica utriuque eadem, ex quibus globus velut eripitur inque ulteriora transponitur.

Concurrunt tamen in occasum promotionis duae causae. Nam globus, se ipso iners ad motum, si non raperetur versus ortum, permaneret se ipso in occidente, loco in ortum abeunte, facilius igitur de loco in occasum promovebitur a violento motu; at in ortum vincenda est illi motui non tantum prehensio magnetica Telluris, sed etiam inertia materialis globi, restitantis in occasu. Esto hoc ut supra de oceano concessum; at quidquid sit, in globo parte bombardico inaestimabile quippiam est, nec ulla proportio sensibilis alterius pugnae ad alteram. Nam si globus bombardicus exploderetur eadem

Pero, una vez más, el razonamiento de Tycho es falso. Tycho razona como si la bala estuviera muy lejos de la tierra y no sobre ella. Y acudiendo de nuevo al paralelo con el navío, Kepler explica que sin duda, con relación a la tierra, es decir, con relación a las orillas inmóviles del río por el que se desliza, existe una notable diferencia entre la proyección de un objeto hacia adelante o hacia atrás de la marcha de la embarcación. Desde el punto de vista de la tierra, la distancia atravesada no será la misma, y la fuerza del lanzamiento, al igual que el choque del objeto proyectado, serán diferentes. Las fuerzas del lanzamiento y del movimiento se suman o se restan, etc., pero todo eso, todas esas causas compuestas, y sus efectos, no existen para el que está en el navío. Para él, el objeto —ya se mueva o esté inmóvil el navío— tiene siempre el mismo peso; lanzado, recorre siempre el mismo intervalo.

«Razónese de la misma manera, *mutatis mutandis*, en el caso del cañón. De este modo, un gran obús cuyo vuelo en el aire dura dos minutos recorre en la tierra una milla alemana hacia Occidente, y durante este tiempo la tierra, en el ecuador, recorre en sentido inverso ocho millas. Por eso, con relación al espacio del mundo, la bala es llevada por un movimiento violento en sentido inverso, o sea hacia Oriente, a una distancia de siete millas, y la explosión que la lanza en dirección contraria a ese movimiento de la tierra no le sirve sino para suprimir esa octava milla y hacer que la bala se mueva más lentamente hacia Oriente. Pues la pólvora no puede arrancarla, por así decirlo, de las manos de la tierra... y sigue en el campo de su virtud de tracción. Y, al contrario, la bala de cañón disparada al mismo tiempo hacia Oriente es llevada a una distancia de ocho millas por el *raptus* de la tierra, y al haber sido violentamente proyectada hacia Oriente por la explosión, ella misma añade la novena. Así pues, haya sido disparada hacia Oriente o hacia Occidente, la bala se dirige siempre hacia Oriente, si bien un poco más en un caso que en otro. Ahora bien, este espacio compuesto [mundial] no tiene nada que ver con el espacio que los hombres pueden medir en la tierra. En la tierra, el espacio recorrido por la bala de cañón es en ambos casos más o menos el mismo, pues la fuerza es la misma y los lazos magnéticos son los mismos.

---

vi pulveris, positus extra virtutem Telluris attractoriam, transvolaret in non tantum per unum aut per octo milliaira spatii mundani, sed plane per incredibilem eorum numerum.

Posito etiam, quod differentia sit perceptibilis se ipsa, tandem de[illegible] occasio experimentandi. Quis enim certum me reddet de eadem vi pulveris in utraque explosione ceterisque circumstantiis utrinque iisdem?»

»Ahora bien, la promoción efectiva hacia Occidente se debe a la concurrencia de las dos causas. En efecto, en sí mismo el obús es *inerte* con relación al movimiento, y si no fuera llevado hacia Oriente permanecería, por sí mismo, en Occidente, y como el lugar se aleja hacia Oriente, un movimiento violento lo empujaría más fácilmente hacia Occidente que en sentido inverso. Porque en el caso del movimiento hacia Oriente, ese movimiento debe vencer no sólo la atracción magnética de la tierra, sino también la inercia del globo material [de la bala de cañón] que lo retiene en Occidente... Pero, de cualquier forma, esta fuerza de resistencia de la bala no es mensurable y las dos fuerzas no guardan ninguna relación entre sí. En efecto, si este obús estuviera situado fuera del campo de la virtud atractiva de la tierra y fuera lanzado por la misma fuerza explosiva de la pólvora, volaría en el espacio del mundo no a una distancia de una u ocho millas sino, de seguro, a una distancia increíble.

»Incluso admitiendo que la diferencia sea perceptible por sí misma, no es menos cierto que la posibilidad de hacer el experimento es inexistente. ¿Quién podrá asegurarme, entonces, que la fuerza explosiva de la pólvora ha sido la misma en ambos casos, y que todas las demás circunstancias han sido similares?»

Esta es la última palabra de Kepler. Y se aprecia con claridad la fuente filosófica, o más bien metafísica, de su fracaso: se explica cabalmente por su negativa a situar en el mismo plano ontológico el reposo de un cuerpo y su movimiento.

II. EL «DIALOGO SOBRE LOS DOS MAXIMOS SISTEMAS DEL MUNDO» Y LA POLEMICA ANTIARISTOTELICA

Sin duda sería una exageración pretender que la obra de Galileo fue en su totalidad el resultado de preocupaciones cosmológicas, y presentarla en su totalidad (tal como lo han hecho Henri Martin [93] y, más recientemente, E. Wohlwill) [94] como una lucha por la concepción copernicana del universo: no olvidemos los *Discorsi e dimostrazioni*... No por ello deja de ser cierto que las preocupaciones cosmológicas desempeñan un papel de primerísima importancia en el pensamiento y los estudios de Galileo, y que desde su juventud, desde los tratados y diálogos sobre el movimiento esbozados por él en Pisa, le vemos plantearse pro-

[93] Véase Th. Henri Martin, *Galilée...*, París, 1868.

[94] E. Wohlwill, *Galileo Galilei und sein Kampf für die Copernikanische Lehre*, 2 vol., Hamburgo-Leipzig, 1909-1926.

blemas que sólo cobran su cabal significado en función de la concepción copernicana del Universo [95].

Por otra parte, lo vemos tropezar con las mismas dificultades, insolubles en su época, que entorpecerán, cuarenta y cinco años más tarde, la marcha del pensamiento.

El problema central que preocupa a Galileo en Pisa es el de la persistencia del movimiento. Ahora bien, está claro que cuando Galileo estudia el caso del movimiento (de rotación) de una esfera situada en el centro del mundo, así como el de una esfera situada fuera de ese centro, tiene presente la situación creada por la doctrina copernicana; la esfera marmórea cuyos movimientos analiza representa, sin duda alguna, la tierra; y sus movimentos son los de la tierra [96].

Pero el resultado al que llega Galileo —en contradicción, por otra parte, con las premisas esenciales de la física del *impetus*— nos revela de modo elocuente las dificultades, y la fuente de las dificultades, que encontraban en su camino la nueva física y la nueva astronomía.

Efectivamente, el resultado al que llega el análisis galileano es el de la persistencia natural o, más exactamente, la situación privilegiada del movimiento *circular* [97]. Y es esta situación, fuertemente corroborada por la experiencia cotidiana y sobre todo por la «experiencia» copernicana del movimiento circular de la tierra (movimiento orbital y movimiento de rotación) que confirma la experiencia astronómica del movimiento circular de los planetas, la que constituye el obstáculo contra el que vendrán a estrellarse los esfuerzos galileanos.

Como ya tuvimos ocasión de decir, la experiencia no favorece a la nueva física [98]: los cuerpos caen y la tierra gira; he aquí dos hechos que esta nueva física no puede explicar y que en sus comienzos la hacen tambalearse.

Contrariamente a lo que suele afirmarse, la ley de la inercia no tiene su origen en la experiencia del sentido común, y no es ni una generalización de esta experiencia ni tampoco su

---

[95] Véase E. Wohlwill, *op. cit.*, I, pp. 105 ss., y *supra*, pp. 66 ss.

[96] Cf. Galileo, *De motu*, p. 304 (*Opere*, Ed. Nazionale, vol. I) citado *supra*, p. 66, n. 142.

[97] *Ibid.*, pp. 65 ss.

[98] Como señala muy bien P. Tannery, *Galilée et les principes de la dynamique*, Mémoires scientifiques, vol. VI, París, 1926, p. 399: «Si, para juzgar el sistema dinámico de Aristóteles, hacemos abstracción de los prejuicios que se derivan de nuestra educación moderna, si tratamos de meternos en la mentalidad que podía tener un pensador independiente al comienzo del siglo XVII, es difícil que no reconozcamos que ese sistema se ajusta mucho más que el nuestro a la observación inmediata de los hechos», Cf. *supra*, p. 5, n. 19.

idealización. Lo que se encuentra en la experiencia es el movimiento circular o, de forma más general, el movimiento curvilíneo. Nunca presenciamos el movimiento rectilíneo, si exceptuamos el caso de la caída, que precisamente no es un movimiento inercial. Y no obstante, el movimiento que la física clásica se esforzará en explicar será el primero —el curvilíneo—, a partir del segundo. Curiosa andadura del pensamiento: no se trata de explicar el dato fenoménico mediante la suposición de una realidad subyacente (como hace la astronomía, que explica los fenómenos, es decir, los movimientos aparentes, por medio de una combinación de movimientos reales), ni tampoco de analizar el dato en sus elementos simples para luego reconstruirlo (método resolutivo y compositivo, al cual —sin razón, a nuestro parecer— algunos reducen la novedad del método galileano); se trata, propiamente hablando, de explicar lo que *es* a partir de lo que *no es*, de lo que no es nunca. E incluso a partir de lo que *no puede nunca ser*.

Explicación de lo real a partir de lo imposible. ¡Curiosa andadura del pensamiento! Andadura paradójica donde las haya; andadura que nosotros denominaremos arquimediana o, mejor dicho, platónica: explicación o, más bien, reconstrucción de la realidad empírica a partir de una realidad ideal. Andadura paradójica, difícil y arriesgada; y el ejemplo de Galileo y Descartes nos hará ver de inmediato y palpablemente su contradicción esencial: necesidad de una conversión total, de una sustitución radical de la realidad empírica por un mundo matemático, platónico —puesto que sólo en ese mundo tienen validez y se realizan las leyes ideales de la física clásica— e imposibilidad de esa sustitución total que haría desaparecer la realidad empírica en lugar de explicarla y que, en lugar de preservar el fenómeno, haría aparecer entre la realidad empírica y la realidad ideal, el abismo mortal del hecho no explicado. Ahora bien, ya en Pisa, el arquimediano Galileo tropieza con el hecho.

Como es bien sabido, en la física aristotélica todos los movimientos están divididos en dos grandes grupos o, mejor aún, clasificados en dos categorías: movimientos «naturales» y movimientos «violentos». Galileo arremete contra esa clasificación, y nos hace observar que tal división está mal hecha [99]. En efecto, los dos términos no son incompatibles, y hay movimientos a los que habría que considerar a la vez naturales y violentos. Además, y esto es más grave, hay movimientos que no caben en ninguno de los dos grupos, movimientos que no son ni natu-

[99] Cf. Galileo, *De motu*, p. 305, citado. Cf. *supra*, p. 66, n. 142.

rales ni violentos. Por ejemplo, el movimiento circular (de rotación) de una esfera situada en el centro del mundo. No es natural a la esfera, que en sí misma no tiene propensión al movimiento; tampoco se le puede considerar violento, pues en verdad no se le hace ninguna violencia a la esfera, ya que permanece en su lugar y su movimiento nada cambia, no levanta ni baja ningún peso. Y por lo demás, todo ello tanto menos cuanto que la esfera, situada en el centro del mundo, es decir su lugar natural, no pesa[100].

Pero el caso de la esfera situada en el centro del mundo está lejos de ser único: en realidad todo movimiento circular (alrededor del centro) no es natural ni es violento; aquí, de nuevo, el movimiento nada cambia, es decir, no levanta ni baja pesos. Finalmente, el movimiento de un cuerpo grave esférico que rueda por un plano horizontal tampoco es ni natural ni violento, pues una vez más el movimiento no levanta ni baja pesos. De ello se deduce —nos dice Galileo— que si se elimina toda acción de la resistencia exterior (un plano absolutamente liso, unos cuerpos absolutamente duros, absolutamente esféricos, etc.) podría muy bien no detenerse el movimiento de esos cuerpos. Y podría prolongarse indefinidamente[101].

Pero, en realidad, ¿qué es un plano horizontal?; más concretamente: ¿qué es un plano horizontal para un cuerpo grave? Y, más concretamente aún: ¿qué es un plano horizontal real para un cuerpo grave real, en la tierra? No es, en absoluto, el plano horizontal de la geometría o el de la física arquimediana. En un plano horizontal —geométrico— de este tipo realizado en la tierra, por ejemplo, en un plano tangente a la superficie de la tierra, un grave se hallaría en una situación completamente diferente. En efecto, al moverse por ese plano se alejaría del centro de la tierra (o del mundo) y, por consiguiente, se elevaría. Su movimiento sería violento y, de hecho, comparable al del cuerpo que sube por un plano inclinado, o sea, por un plano ascendente: entonces no sólo no podría prolongarse inde-

---

[100] Así pues, los cuerpos celestes no pesan. En general, el cuerpo colocado en su lugar propio «no tiene tendencia a ir hacia abajo»; está pues privado de peso. Cf. *supra*, pp. 60 ss.

[101] *De motu*, pp. 300, 304, citado, *supra*, pp. 66, 71. Cf. *Le mecaniche*, *Opere*, Ed. Nazionale, vol. II, p. 180: «*Nella superficie esatemente equilibrata detta palla resti come indifferente e dubbia tra il moto e la quiete, si che ogni minima forza sia bastante a muoverla, siccome all'incontro, ogni pochissima resistenza, e quale è quella sola dell'aria che la circonda, potente a tenerla ferma. Dal che possiamo prendere, come per assioma indubitato, questa conclusione: che i corpi gravi, rimossi tutti l'impedimenti esterni ed adventizii, possono esser mossi nel piano dell'orizonte da qualunque minima forza.*»

finidamente sino que, al contrario, necesariamente habría de detenerse. El único movimiento real que no sería natural ni violento, el único movimiento que no haría ni elevarse ni bajar al grave, el único movimiento que no le haría alejarse o acercarse al centro de la tierra (o del mundo), sería aquel que siguiera su contorno. Por lo tanto, sería un movimiento circular. Dicho de otra forma: el plano horizontal *real* es una *superficie esférica*[102].

Como se puede ver, el razonamiento confirma la experiencia: el movimiento circular ocupa en la realidad física una posición absolutamente privilegiada. Y al mismo tiempo se impone una conclusión: las concepciones geométricas no se aplican tales cuales a la realidad física. Con certeza, podríamos decir, en términos no galileanos: el espacio real no es ni arquimediano ni euclidiano; difiere de ellos justo como la superficie esférica difiere del plano geométrico.

Tal es la situación galileana. Es casi la misma en Pisa que en Padua y en Florencia. Hay un hecho innegable, a la vez que inexplicable, hecho del que, por lo demás, la dinámica galileana no puede prescindir[103]: el hecho del peso; el hecho de que haya graves; de que esos graves caigan. Existe otro hecho, estrechamente relacionado con el primero: la recta real es una circunferencia, el plano real es una superficie esférica, la circunferencia —y no la recta—: he aquí la línea física privilegiada[104].

Esto lo afirma Galileo *expressis verbis:* «El movimiento rectilíneo —nos dice— es algo que, a decir verdad, no se encuentra en el mundo. No puede haber movimiento rectilíneo *natural.* En efecto, el movimiento rectilíneo es, por su naturaleza, infinito, y puesto que la línea recta es infinita e indeterminada resulta imposible que cualquier móvil tenga, por naturaleza, el principio de moverse en línea recta, es decir, hacia donde es imposible llegar, ya que no existe término en lo infinito. Y, como el propio Aristóteles dice, la naturaleza no intenta hacer nada que no pueda hacerse, no intenta moverse hacia donde no es posible llegar»[105].

---

[102] Véase *De motu,* p. 300, citado *supra,* p. 71. El mismo razonamiento se encuentra en el *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (*Opere,* vol. VII), pp. 46 ss.; 53 ss.; 172; y los *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze (Opere,* vol. VIII), p. 268.

[103] Como veremos más adelante, la dinámica galileana podría ser denominada dinámica de la caída.

[104] *Dialogo,* I, p. 53.

[105] Galileo, *Dialogo,* I *(Opere,* vol. VIII), p. 43. Al margen: *Moto retto di sua natura infinito. Moto reto impossibile per natura. Moto retto impossibile esser nel mondo ben ordinato:* «Habiendo establecido este principio se puede concluir inmediatamente que, si todos los cuerpos cósmicos deben

Curioso texto, sobre el que tendremos ocasión de volver (texto corroborado, además, por muchos otros)[106], y en el que se encuentran la mayoría de las nociones de las que se supone habernos librado la física galileana.

Si es así, ¿entonces cómo es que Galileo pudo ser el fundador —o uno de los fundadores— de la física moderna, física basada, como hemos dicho, en la preponderancia de la recta sobre la circunferencia, en la geometrización del espacio, en la ley de la inercia? ¿O es un señuelo, un caso de contrasentido fecundo? ¿O simplemente lo malinterpretaron los sucesores y discípulos de Galileo, los Gassendi, Torricelli y Cavalieri; perdieron de vista la diferencia y, pasando por alto las reiteradas aserciones del maestro, identificaron el plano real con el geométrico, y por ello sacaron de la doctrina galileana lo que en esa doctrina no se hallaba incluido? Como es sabido, esta es la opinión de Wohlwill[107], opinión, por cierto, violentamente combatida por E. Mach[108] y, sobre todo, por E. Cassirer[109], quie-

---

ser móviles por su naturaleza, es imposible que su movimiento sea rectilíneo, o de otro tipo que no sea circular; y la razón de ello es muy fácil y manifiesta: puesto que lo que se mueve con movimiento rectilíneo cambia de lugar, y al seguir moviéndose se aleja cada vez más del término de donde había partido y de todos los lugares por los cuales pasa sucesivamente; si tal movimiento conviniera naturalmente a [un cuerpo], de ello se deduciría que, desde el comienzo, no estaba en su lugar natural, y que, por consiguiente, las partes del mundo no estaban dispuestas en un orden perfecto; pero hemos admitido que estaban perfectamente ordenadas; luego es imposible que estén determinadas por su naturaleza a cambiar de lugar y, por lo tanto, a moverse en línea recta.»

[106] Cf. *Dialogo*, I, p. 56 (al margen): «*Moti circulari finiti e terminati non disordinano le parti del mondo. Nel moto circolare ogni punto della circonferenza è principio e fine. Moto circolare solo uniforme. Moto circolare può continuarsi perpetuamente. Moto retto non può naturalmente esser perpetuo. Moto retto assegnato a i corpi naturali per ridursi al ordine perfetto, quando ne siano rimossi. La quiete sola e il moto circolare atti alla conservazione dell' ordine*. Cf. *ibid.*, p. 166. *Salv.*: «Es imposible que un móvil cualquiera se mueva eternamente en línea recta.»

[107] Cf. E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., vol. XV, p. 387. Cf. también A. Höfler, *Studien zur gegenwärtigen Philosophie der mathematischen Mechanik*, Leipzig, 1900, pp. 111 ss.

[108] Cf. E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt*, 8.ª ed., Leipzig, 1921, pp. 133 ss., y sobre todo pp. 265 ss.

[109] Cf. E. Cassirer. *Das Erkenntnisproblem ir der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, Berlín, 1911, p. 397: «*Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes hängt... mit den Grundgegedanken von Galileis Forschung innig und unverkennbar zusammen. Schon aus der Betrachtung dieses Zusammenhanges heraus sollte jeder Zweifel daran schwinden, ob Galilei die volle Einsicht von der Allgemeinheit und Tragweite seines neuen Grundsatzes gewonnen hat.*» Y, sin embargo, es Wohlwill quien tiene razón; mucha más que la que él mismo creía.

nes consideran, por el contrario, que la física galileana está tan marcada por el principio de inercia que es imposible que el propio Galileo no tuviera conciencia de ello.

¿Entonces? ¿Formuló —o al menos planteó— Galileo el principio de inercia? Dilema demasiado simple en nuestra opinión —la realidad histórica es más compleja, más rica, está más matizada—; dilema que además no presta atención al único problema en verdad instructivo e interesante: el de saber *por qué* en el curso de su lucha por la matematización de lo real no llegó Galileo a plantear, al menos expresamente (el propio Cassirer no podría negar esto), el principio de inercia que sus sucesores y discípulos adoptaron, según se nos dice, tan fácilmente. Pues no se trata sólo de dejar constancia de un hecho: hay que comprenderlo. Y para comprenderlo hay que estudiar el pensamiento real de este gran florentino.

Esto es, justamente, lo que nos proponemos hacer [110]. Y, cosa muy curiosa, veremos que si en verdad fracasó Galileo en su tarea (*grosso modo* es correcta la tesis de Wohlwill) fue porque, al contrario que Descartes, no supo o no pudo librarse del hecho ni aceptar la consecuencia inevitable de la matematización de lo real: la geometrización completa del espacio, es decir la infinitud del universo y la destrucción del cosmos [111].

Ya hemos dicho que la física moderna nace en los cielos tanto como en la tierra [112], y que se presenta como solidaria de una empresa astronómica, o, mejor dicho, cosmológica. Las obras de Galileo, tanto el *Dialogo* como el *Saggiatore*, son, ante todo, obras copernicanas, y la física de Galileo es una física copernicana, una física que debe defender la obra del gran as-

---

[110] Por eso recurriremos a numerosas citas, pues no son los resultados sino el propio desarrollo del pensamiento galileano lo que aquí nos interesa.

[111] *Notae per il Morino* (J. B. Morini, *Famosi et antiqui problematis de telluris motu vel quiete hactenus optata solutio*, París, 1631), *Opere*, vol. VII, p. 565: «*Noi non cerchiamo quello che Iddio poteva fare, ma quello che Egli ha fatto. Imperò che io vi domando, se Iddio poteva fare il mondo infinito o no: se Egli poteva e non l'ha fatto, facendolo finito e quale egli è de facto, non ha esercitato della Sua potenza, in farlo cosi, piu che se l'avesse fatto grande quanto una veccia.*» Cf. *Dialogo*, I, 43, donde Galileo proclama que, entre las cosas dichas por Aristóteles, «admito y estoy de acuerdo con él en que el mundo es cuerpo dotado de todas las dimensiones y, por consiguiente, el más perfecto; y añado que, como tal, necesariamente está bien ordenado, es decir, [compuesto] de partes dispuestas en un orden supremo . el más perfecto; afirmación que no creo que sea negada ni por vos ni por nadie».

[112] Cf. P. Tannery, *Galilée et les principes de la dynamique*, Mémoires scientifiques, vol. VI, pp. 404 ss., París, 1926. P. Painlevé, *Les axiomes de la mécanique*, París, 1922, pp. 31 ss.

trónomo —el movimiento de la tierra— contra las antiguas objeciones y los nuevos ataques. Ahora bien, esta nueva física —y esto Galileo lo ve mejor que nadie— debe ser *toto coelo* diferente de la antigua: por eso para construir ésta es preciso, en primer lugar, demoler aquélla, o sea demoler las bases, los fundamentos *filosóficos* que la sostienen; y en cuanto a la nueva física, matemática, la arquimediana, Galileo sabe muy bien que para establecerla tiene que refundir y refundar todos sus conceptos, y que tiene que apoyarla, tan sólidamente como sea posible, en una *filosofía*. De ahí esa mezcla sutil de «ciencia» y de «filosofía» existente en la obra galileana, y la imposibilidad para el historiador —a menos que renuncie a comprender— de separar los dos elementos integrantes de su pensamiento.

El *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo* pretende exponer dos sistemas astronómicos rivales[113]. Pero, en realidad, no es un libro de astronomía[114], ni siquiera de física. Es, ante todo, un libro de crítica; una obra de polémica y combate; es al propio tiempo una obra pedagógica, filosófica; es, finalmente, un libro de historia: «la historia del pensamiento de Galileo».

Una obra de polémica y combate; esto es lo que, en parte, determina la estructura literaria del *Dialogo*[115]: Galileo arma su máquina de guerra contra la ciencia y la filosofía tradicionales. Pero si el *Dialogo* va dirigido *contra* la tradición aristotélica, no va destinado —o casi— a sus defensores, a los filósofos de Padua y de Pisa, a los autores de los tratados *De motu* y de los comentarios del *De coelo:* el *Dialogo* va destinado al lector «hon-

---

[113] Cf. U. Forti, *Introduzione storica alla lettura del «Dialogo sui massimi sistemi» di Galileo Galilei*, Bolonia, 1931.

[114] La parte astronómica del *Dialogo* es singularmente pobre; Galileo no sólo no tiene en cuenta los descubrimientos de Kepler, sino tampoco el contenido concreto de la obra de Copérnico. El heliocentrismo se presenta en él en su forma más simple —el sol en el centro, los planetas que se mueven en círculo alrededor del sol—, forma que, como él sabía positivamente es falsa. Simplificación voluntaria, completamente análoga a la simplificación presentada por Descartes en los *Principios* y que —inexplicable en una obra de astronomía— se explica muy bien en una obra filosófica.

[115] Sobre la estructura literaria del *Dialogo* y su plan, véanse L. Strauss, en la introducción a su traducción de la obra de Galileo, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, Leipzig, 1891, y, más recientemente, L. Olschki, *Galilei und seine Zeit*, Halle, 1927. La estructura literaria, o mejor dicho, la forma dialogada de la obra galileana es tan importante para él como lo es para Platón: y esto por razones análogas, razones muy profundas y ligadas a la concepción misma del saber científico. Por esto habremos de dar al lector varias muestras. De ello resultarán dilaciones y repeticiones. ¡Qué le vamos a hacer! La obra de Galileo ocupa un lugar único en el pensamiento moderno, y éste no se puede comprender sin comprender aquélla.

rado»[116]; por eso no está escrito en latín —lengua erudita de universidades y escuelas— sino en lengua vulgar, en italiano, que es la lengua de la corte y de la burguesía. Por otro lado, todos los reformadores procedieron así: acordémonos de Bacon y de Descartes.

Es al hombre honrado al que Galileo quiere ganar para su causa; pues bien, el hombre honrado hay que persuadirlo y convencerlo; no hay que fatigarlo ni abrumarlo. De ahí (en parte) la forma dialogada de la obra; el tono ligero de la conversación, las constantes digresiones y reanudaciones, el aparente desorden del debate: esa era la forma en que se conversaba y discutía, entre gente honrada, en los salones de los patricios de Venecia, o en la corte de los Médicis. De ahí la variedad de las «armas» de que se sirve Galileo: la discusión serena que busca la prueba e intenta demostrar; el discurso elocuente que quiere persuadir; y finalmente, la última —y más poderosa— de las armas del polemista: la crítica incisiva, acerada y mordaz, y la chanza, que al mofarse del adversario lo pone en ridículo y de este modo socava y echa por tierra lo que le queda de autoridad[117].

Una obra «pedagógica». Pues no se trata sólo de convencer, persuadir y probar; también —y quizá sobre todo— se trata de poner, poco a poco, al lector honrado en condiciones de ser persuadido y convencido; en condiciones de comprender la demostración y admitir la prueba[118]. Y para esto se hace necesario un doble trabajo de destrucción y de educación: destrucción de los prejuicios y de los hábitos mentales tradicionales y del sentido común; creación, en su lugar, de nuevos hábitos, de una nueva aptitud para el razonamiento.

De ahí las dilaciones insoportables para el lector de nuestro tiempo —lector que se ha beneficiado de la revolución galileana—; de ahí las repeticiones, las vueltas atrás, la renovada crítica de los mismos argumentos, la multitud de ejemplos... En efecto, hay que educar al lector, enseñarle a no confiar más en la autoridad, la tradición y el sentido común. Hay que enseñarle a pensar.

Una obra de filosofía[119]: en efecto, no sólo ataca y combate

---

[116] Toda obra literaria está escrita para ser leída por determinados lectores. El *Dialogo* no está escrito para el lector del siglo XX, sino para los italianos del XVII, como los diálogos de Platón lo estaban para los atenienses del siglo IV.

[117] Cf. todo el comienzo de la segunda jornada.

[118] Esa es la razón de que no todos los razonamientos de Galileo están al mismo nivel.

[119] Sobre el carácter filosófico de la obra galileana, véase E. Cassirer, «Wahrheitsbegriff und Wahrheitsproblem bei Galilei», *Scientia*, septiembre-octubre de 1937.

Galileo la física y la cosmología tradicionales, sino también toda la filosofía y toda la *Weltanschauung* de sus adversarios. Además, en aquel tiempo la física y la cosmología eran solidarias de la filosofía o, si se prefiere, formaban parte de ella. Ahora bien, si Galileo combate la filosofía de Aristóteles, lo hace en beneficio de otra filosofía, en cuyas filas se alista: en beneficio de la filosofía de Platón. De determinada filosofía de Platón[120].

De ahí, desde el comienzo del *Dialogo*, el ataque contra la concepción tradicional del cosmos, con su separación tajante entre los cielos y la tierra, el mundo celeste y el mundo sublunar[121], operación para la cual utiliza Galileo todos los datos

---

[120] En la historia de la filosofía hay varios Platones y varios platonismos; hay sobre todo dos tipos distintos: el platonismo, o más exactamente, el neoplatonismo, de la Academia Florentina, mezcla de mística, aritmología y magia; y el platonismo de los matemáticos —el de un Tartaglia y el de un Galileo—, platonismo que es matematismo, sin más. El no haber distinguido entre estos dos platonismos —para el uno el *Timeo* es un tratado de cosmología mágica; para el otro, un ensayo de física matemática— es el pecado venial del bello libro de E. A. Burtt, *The metaphysical foundations of modern physical science*, Londres, 1924, y también, pero esta vez mortal, del libro de E. Strong, *Procedures and metaphysics*, University of California Press, Berkeley, 1936. Sobre los dos platonismos véase L. Brunschvicg, *Les étapes de la philosophie mathématique*, París, 1922, pp. 69 ss., y *Le progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, París, 1927, pp. 39 ss.

[121] Así desde el comienzo del *Dialogo* (pp. 42 ss.) nos muestra Galileo la física y la cosmología aristotélicas basadas en la creencia en la *perfección* del círculo y del «movimiento circular, más perfecto que el movimiento rectilíneo: cuánto más perfecto es aquél que éste lo prueba Galileo por la perfección de la línea circular en comparación con la recta, llamando a aquélla perfecta y a ésta imperfecta: imperfecta, porque si es infinita carece de fin y de término; y si es finita hay fuera de ella algo donde podría ser prolongada. Esta es la primera piedra, base y fundamento de toda la arquitectura del mundo aristotélico sobre la cual se fundan todas las demás propiedades de lo no grave y lo no leve, de lo ingenerable, incorruptible y exento de toda mutación, salvo la local, etc. Y todas estas afecciones, afirma, son propias del cuerpo simple que se mueve con movimiento circular; mientras que las afecciones opuestas de la gravedad, levedad, corruptibilidad, etc. las asigna Galileo a los cuerpos movidos naturalmente con movimiento rectilíneo. De donde se deduce que si se encuentra un fallo en la estabilidad de lo que se ha dicho, podrá dudarse razonablemente de todo el resto, construido sobre esto». Ahora bien, para el mismo Galileo es ridículo hacer una distinción de *perfección* entre las líneas matemáticas (cf. *Il saggiatore, Opere*, VI, p. 293, donde Galileo dice no haber leído las crónicas que contienen los títulos de nobleza de las figuras matemáticas), al igual que es injusto ver en la inmutabilidad —poco segura, por otra parte— del mundo celeste un signo de perfección. En efecto, ¿por qué la vida y la movilidad del mundo sublunar no pueden ser, por el contrario, una mayor perfección que la gélida inmovilidad de los cielos? (*Dialogo*, I, p. 85). ¿No ve el mismo aristotelismo en el movimiento una realidad, y en el reposo una simple privación? Finalmente, subrayemos que, para hacer una crítica a Aristóteles, Galileo cree que no debe oponerle hechos experimentales, sino *otro sistema*, y que

suministrados por la nueva astronomía, los descubrimientos del *Nuntius sidereus* que presentan a la luna como un cuerpo estrictamente comparable a la tierra y de la misma naturaleza que ésta. De ahí, también, las alusiones a Platón, diseminadas a través de todo el libro, cuya forma dialogada se inspira, sin duda alguna, en Platón y que comienza, además, con un mito cosmológico seudoplatónico; de ahí las alusiones al método socrático, método que aplica, por cierto —y con éxito—, el portavoz de Galileo, Salviati. Todo esto para decirnos: ¡Presten atención! En la lucha secular que enfrenta a los dos grandes filósofos, nosotros estamos con Platón [122].

---

su construcción rechaza el antropocentrismo como una impertinencia (*Dialogo*, III, p. 399).

[122] El platonismo de Galileo, hecho, a nuestro parecer, de primerísima importancia y sobre el cual volveremos más adelante (pp. 264 ss.) ha sido señalado por algunos de los recientes historiadores del gran florentino. Así, E. Strauss, autor de una excelente, aunque a veces modernizante, traducción del *Dialogo* al alemán (G. Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichtsten Weltsysteme*, aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von E. Strauss, Leipzig, Teubner, 1891, p. XLIX) observa muy acertadamente la influencia platónica sobre la forma misma del *Dialogo*, y añade: «*Die platonische Lehre von dem unbewussten Wissen und der Wiedererinnerung, die Galilei mit besonderer Vorliebe erwähnt, beinflusst seine Darstellung; er will nicht nur die erkannte Wahrheit überliefern, auch den psychologischen Vorgang bei dem Acte der Erkenntnis veranschaulicht er, er gibt uns ein litterarisches Gegenstück zu der berühmten Mathematikergruppe der Raphaelischen Schule von Athen, welche malerisch die Stufen der Erkenntnis darstellt. Die ganze Inscenierung, die an die platonischen Dialogue erinnert und erinnern will, legt ein rühmliches Zeichen für die künstlerische Befähigung Galileis ab.*» E. Cassirer, en su *Erkenntnisproblem*, vol. I, estima que Galileo renueva la idea platónica de la ciencia que comprende; de donde para Galileo (y Kepler) se deduce la necesidad de matematizar la naturaleza, pues (p. 389) «*Das platonische Ideal des Begreifens ist nur von dem möglich, wasindauernder Einheit sich erhält*». Por desgracia (a nuestro parecer, al menos), el Cassirer «kantianiza», si se puede decir, a Platón. Por eso, el «platonismo» de Galileo se traduce —para él— en la supremacía dada por éste a la función (p. 402) y a la ley (p. 397) sobre el ser y la sustancia. De este modo, Galileo habría invertido la proposición escolástica *operatio sequitur esse*. L. Olschki (*Galilei und seine Zeit*, Leipzig, 1927), habla muy correctamente de la *Platonische Naturanschit* en Galileo (p. 350) y ve la esencia de su obra en una *Uebertragung mathematischer Denkmethoden auf die Erfassung der Naturvorgänge* (p. 360). Incluso señala (como Mach, por otra parte) que Galileo, a veces, *vertraute der Theorie mehr als der Beobachtung* (p. 268), lo que, sin embargo —¡cosa curiosa!— no le impide decirnos que la dinámica galileana proviene del estudio de la balística (p. 206), que la técnica es la *Vorbedingung seiner Forschung* (p. 207), que Galileo prolonga la tradición de los ingenieros del Renacimiento, y que «*in Galilei's Methode dem Experimente das Uebergewicht zukommt und die geometriche Fassung seiner Ergebnisse lediglich deren Uebertragung in eine strenge Begriffsprache ist, die nur auf diesem konkreten Erfahrungsboden sinnvoll und zweckhaft erscheint* (p. 212). Es E. A. Burtt, *The metaphysical foundations of the modern physical science*, 1924, quien nos parece haber comprendido mejor

Una obra «histórica»: indudablemente, Galileo no nos narra en ella, propiamente dicho, la historia de su pensamiento sino que, dándose cuenta del esfuerzo titánico que ha tenido que desplegar para pasar, él mismo, de la física de Aristóteles a la del *impetus* y de ésta a la de los *Discursos*, nos hace rehacer en cierto modo el camino por él recorrido; por eso, a pocas páginas de distancia, encontramos razonamientos que pertenecen a etapas y niveles del pensamiento muy diferentes [123]; de ahí, el empleo de términos tradicionales —siempre los mismos— cuyo significado, sin embargo, se modifica progresivamente [124]; de ahí la falta de una terminología rígida; de ahí, también, un cierto claroscuro que baña el *Dialogo:* la atmósfera del progreso real del pensamiento. De ahí, finalmente, la reticencia y la prudencia que dejan deliberadamente en la sombra determinados problemas; que eluden ciertos nombres y ciertas doctrinas, demasiado difíciles o bien demasiado peligrosos [125].

Abramos ahora el *Dialogo*. Aquí, los papeles de los interlocutores [126] están intrínseca y perfectamente demarcados [127]. Salviati, el portavoz de Galileo, representa la inteligencia matemática de la nueva ciencia; Sagredo, la *bona mens*, la mente ya liberada de los prejuicios de la tradición aristotélica y de las ilusiones del sentido común, y por lo tanto la mente capaz de comprender —o incluso, habiéndola comprendido, de desarrollar sus consecuencias— la nueva verdad del razonamiento galileano; Simplicio, el sentido común, imbuido de los prejuicios de la filosofía escolástica, que cree en la autoridad de Aristóteles y de la ciencia oficial, y se debate penosamente bajo el peso de la tradición.

---

la infraestructura metafísica —matematismo platonizante— de la ciencia clásica.

[123] Sobre todo en la crítica del aristotelismo. L. Olschki, *Galilei und seine Zeit*, pp. 198-204, estima que Galileo cuenta su propia historia, o incluso que el *Dialogo* reúne partes que en efecto pertenecen a etapas diferentes de la evolución del pensamiento de su autor (p. 355).

[124] Así, por ejemplo, el significado del término *impetus*, que de fuerza = causa del movimiento que anima al móvil se transforma en momento = producto del movimiento por la masa = cantidad de movimiento.

[125] Por eso nunca nombra a Bruno. Y muy raramente a Kepler.

[126] Esos interlocutores no son, por otra parte, de modo alguno simples máscaras, testaferros del autor. No sólo Salviati y Sagredo —figuras históricas—, sino también Simplicio, tienen una personalidad muy marcada; son seres vivos, tan vivos como los personajes de los diálogos de Platón. Cf. E. Wohlwill, *op. cit.*, vol. II, pp. 85 ss.; a Favaro, «Amici et corrispondenti di Galileo», vol. VIII, *Nuovo Archivo Veneto*, 1903, y G. Gabrieli, «Degli interlocutori dei Dialoghi Galileani...», en *Rendiconti dell'Academia dei Lincei*, 1932.

[127] Cf. *Annuaire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, 1936-37.

En el curso del debate es Simplicio quien, en general, se encarga de oponer a Copérnico los viejos y los nuevos argumentos de los partidarios de la astronomía geocentrista. Y, no obstante, cuando se llega a los argumentos *físicos*, a los viejos argumentos de las nubes, de los pájaros, al argumento de los graves que caen verticalmente a tierra, Simplicio cede el paso a Salviati. A las objeciones físicas hay que tomarlas en serio, al contrario que las otras; y para discutirlas y rechazarlas no está de más toda la sutileza de Salviati, que se apoya *abiertamente* en las investigaciones mecánicas de Galileo.

Conocemos esas objeciones. También conocemos las respuestas. Ahora bien, a primera vista al menos, la de Galileo no difiere mucho de la de Bruno; al igual que éste, Galileo opone a los argumentos aristotélicos el principio de la relatividad del movimiento y la dinámica del *impetus*.

«Si la Tierra se moviera —nos dice Simplicio [128] reproduciendo el célebre pasaje del *De coelo*— [129], bien en sí misma, al estar en el centro del mundo, bien en círculo, al mantenerse fuera del centro, sería inevitable que se moviera violentamente, puesto que ese no es su movimiento natural; ya que si lo fuera sería el de todas sus partes; pero éstas se mueven todas en línea recta hacia el centro; siendo, pues, violento y contra natura, no podría ser eterno: ahora bien, el orden del mundo es eterno, luego... En segundo lugar: todos los otros cuerpos que se mueven con movimiento circular quedan atrás y se mueven con más de un movimiento, a excepción del primer móvil [130]: por ese motivo sería necesario que la Tierra se moviera igualmente con un doble movimiento, y si lo hiciera sería necesario que el aspecto del cielo de las estrellas fijas se modificara, lo que no se ve que ocurra: lo que se ve es que nacen (aparecen) y se elevan, sin cambiar, y se ponen en los mismos lugares [131]. En tercer lugar, el movimiento de las partes y del todo está naturalmente dirigido hacia el centro del Universo; por eso está allí la tierra.

»Después de esto —continúa Simplicio— Aristóteles se pregunta si el movimiento de las partes consiste en ir naturalmente

[128] *Dialogo*, II, *Opera*, vol. VII, pp. 150 ss.

[129] Aristóteles, *De coelo*, II, 14.

[130] Todos los cuerpos celestes (todos los planetas) poseen un doble movimiento, y «se retrasan» con respecto al de la bóveda celeste.

[131] Si la tierra se mueve con un movimiento de rotación, debe poseer igualmente un movimiento orbital, y eso debería provocar modificaciones en el aspecto del cielo. Copérnico ya respondió a esta objeción aduciendo la inmensidad del cielo de las estrellas fijas, con respecto al cual la esfera de la tierra es concebida como un punto. Cf. Copérnico, *De revolutionibus*, l. I, c. VI.

hacia el centro del Universo, o bien hacia el centro de la tierra; y concluye que por instinto se dirige hacia el centro del Universo, y sólo por accidente lo hace hacia el centro de la tierra. Finalmente, lo confirma por un cuarto argumento extraído de la experiencia de los graves, los cuales, al caer de arriba abajo, llegan en vertical a la superficie de la tierra; y de la misma forma, los cuerpos lanzados verticalmente hacia arriba regresan hacia abajo verticalmente y por la misma línea. Estos argumentos muestran con claridad que ese movimiento está dirigido hacia el centro de la tierra. Por último, Aristóteles indica que los astrónomos han presentado también otras razones para confirmar tal opinión, es decir, que la Tierra está inmóvil en el centro del mundo. Aristóteles sólo da una, a saber: que todas las apariencias que se perciben y que se producen durante los movimientos de las estrellas concuerdan con la posición de la tierra en el centro, concordancia que no tendría lugar si no estuviera en él. Los demás argumentos alegados por Tolomeo y los otros astrónomos puedo reproducirlos ahora mismo, si lo deseáis, o más tarde, cuando hayáis respondido lo que os plazca a los argumentos de Aristóteles» [132].

Como sabemos, los argumentos aristotélicos no son en ningún modo despreciables. Y Galileo habrá de discutirlos uno a uno. Pero antes de hacerlo, y antes de pasar a la discusión de algunos argumentos de Tolomeo, que Simplicio mantiene en reserva [133], Galileo considera preciso desarrollar con mayor amplitud la famosa demostración tomada de la caída de los graves, que Simplicio había examinado con demasiada rapidez, y completar el argumento de la torre, y el de los cuerpos lanzados al aire, con las pruebas más «modernas» del navío en movimiento, la bombarda y la culebrina [134].

Por eso, aplazando para otro día el estudio de los argumentos astronómicos, Salviati prosigue [135]:

---

[132] Al ser específicamente astronómicos, no estudiaremos los otros argumentos. Su estudio constituye el contenido de la tercera jornada del *Dialogo*.

[133] Especialmente el argumento de la fuerza centrífuga.

[134] Como sabemos, estas pruebas aportan poco de nuevo y, a decir verdad, no son otra cosa que formas diferentes de un solo y mismo argumento. Por eso algunos se han extrañado de que Galileo las exponga y las discuta con tanto cuidado, y se han preguntado la razón de esas repeticiones inútiles. La razón es, sin embargo, muy sencilla: los argumentos «modernos», los de la bombarda y la culebrina —argumentos puestos en circulación por el gran astrónomo Tycho Brahe— son los argumentos aducidos por todos los aristotélicos que están «al día»; son también los que producen más efecto.

[135] *Dialogo*, II, pp. 151 ss.

«El argumento de los cuerpos graves que, al caer de lo alto, llegan a la superficie de la tierra siguiendo una línea vertical, se presenta siempre como el argumento más poderoso; se dice que es un argumento irrefutable en favor de la inmovilidad de la tierra: pues si ésta tuviera rotación diurna, esa torre, desde lo alto de la cual se deja caer una piedra, participaría en la rotación de la tierra y durante el tiempo que la piedra emplea en su caída la torre sería llevada a varios cientos de codos hacia Oriente; por lo tanto, la piedra habría de caer en tierra en un lugar alejado de la base de la torre a esa misma distancia. Efecto confirmado por otra experiencia, a saber la de dejar caer una bala de plomo desde la punta del mástil de un navío inmóvil, señalando el sitio donde cae, lugar que está próximo al pie del mástil. Pero si desde el mismo lugar se deja caer la misma bala cuando el navío se mueve, el lugar de su caída quedará alejado del primero a una distancia igual al espacio que el navío haya recorrido durante el tiempo de la caída de la bala; la única razón de esto es que el movimiento natural de la bala dejada libre consiste en dirigirse en línea recta hacia el centro de la tierra. Este argumento se refuerza con el experimento del proyectil lanzado hacia arriba a una distancia muy grande, como por ejemplo la bala disparada por un cañón que apunte perpendicularmente al horizonte: la bala, en su ida y vuelta, emplea el tiempo suficiente para que, paralelamente, el cañón, y nosotros con él, seamos llevados por la tierra a varias millas hacia Oriente. Por lo tanto, la bala, al caer, no podría caer cerca del cañón, sino que quedaría atrás, tan lejos hacia Occidente como la tierra hubiera avanzado hacia Oriente. Se alega, además, un tercer experimento que es el más convincente, a saber, el de disparar con una culebrina una bala hacia Oriente y después otra, con la misma elevación y el mismo alcance, hacia Occidente; el alcance del disparo hacia Occidente sería entonces mucho mayor que el otro hacia Oriente; porque mientras la bala va hacia Occidente, el cañón, llevado por la tierra, va hacia Oriente; por eso la bala debería percutir en la tierra a una distancia del cañón tan grande como la suma de los dos recorridos, uno, el hecho por la propia bala hacia Occidente, y otro, el hecho por el cañón, llevado por la tierra, hacia Oriente; y, al contrario, del recorrido hecho por la bala hacia Oriente habría que restar el que hubiera hecho el cañón que la sigue. Admitamos, pues, por ejemplo, que el alcance de la misma bala sea de cinco millas y que la tierra, a tal latitud, haga, durante el tiempo del recorrido de la bala, tres millas; entonces, en el caso del disparo hacia Occidente la bala tocará tierra a

distancia de ocho millas de la pieza de artillería, distancia que se compone de las cinco millas atravesadas por la bala en su movimiento propio hacia Occidente y de las tres millas recorridas por la pieza hacia Oriente; pero el disparo hacia Oriente no alcanzaría más de dos millas, pues esto es lo que queda cuando se restan de las cinco millas del disparo las tres millas del movimiento de la pieza hacia la mima dirección: ahora bien, el experimento demuestra que los alcances de ambos disparos son iguales; por consiguiente la pieza de artillería permanece inmóvil y la tierra está igualmente inmóvil. A mayor abundamiento, los disparos hacia el mediodía y hacia el norte confirman la estabilidad de la tierra no menos que los experimentos anteriores; pues si la tierra se moviera, jamás se podría dar en el blanco al que se apunta, pues todos los tiros serían desviados hacia Occidente a consecuencia del camino que el blanco, llevado por la tierra, recorrería hacia Oriente en el tiempo que la bala estuviera en el aire.

»Además, ocurriría lo mismo en *todos* los casos en que se disparara una bala de cañón: la bala pasaría por encima o por debajo del blanco, según se disparara hacia Oriente o hacia Occidente...» [136].

Pasemos ahora a la crítica, que es a la vez muy sencilla y muy profunda. Galileo nos dice que los razonamientos de los aristotélicos no son otra cosa que paralogismos: presuponen lo que hay que demostrar. Y, sin duda, es verdad. Pero muy bien podría el aristotélico no aceptar la crítica, consecuencia del reproche que ya le había dirigido Copérnico: Aristóteles no razona, como pretende, a partir del hecho, sino bien al contrario, a partir de la teoría [137]. A lo que el aristotélico podría, y con razón, responder:

a) que es imposible razonar de otra forma;
b) que Galileo hace lo mismo.

Ciertamente, el razonamiento aristotélico presupone una teoría, o, si se prefiere, una noción determinada del movimiento: proceso que afecta al móvil. Además presupone que la percepción sensible nos permite aprehender directamente la realidad física [138]; que es, incluso, el único medio de aprehenderla. Y que, por lo tanto, una teoría física no puede nunca poner en duda el dato inmediato de la percepción.

---

[136] *Dialogo,* II, p. 153.
[137] Véanse *supra,* pp. 155-156.
[138] Cf. *Dialogo,* p. 153.

Ahora bien, Galileo lo niega expresamente. Parte de suposiciones directamente opuestas:

a) que la *realidad* física no se ofrece a los sentidos sino que, por el contrario, es aprehendida por la razón;

b) que el movimiento no afecta al móvil, el cual permanece indiferente frente a todo movimiento que lo anima, y que no afecta más que a las relaciones entre un móvil y un objeto que no se mueve.

Paralogismo desde el punto de vista de Galileo, el razonamiento aristotélico es, en sí, inatacable.

No obstante, dialécticamente —al menos en el *Dialogo*— Galileo tiene, sin duda, derecho a calificar el razonamiento aristotélico de paralogismo. Es que ya, antes de exponer las pruebas físicas y mecánicas de la inmovilidad de la tierra, ha establecido el doble principio de la relatividad tanto óptica como mecánica del movimiento [139].

En verdad, la relatividad óptica del movimiento no ha sido ignorada nunca, y ya Copérnico había concluido de ella la imposibilidad de establecer una diferenciación puramente óptica entre las dos astronomías: la geocéntrica y la heliocéntrica; en efecto, todo movimiento aparente de la bóveda celeste puede ser interpretado, físicamente, de una u otra manera [140]. Esto es precisamente lo que explica la importancia de las pruebas físicas alegadas por Aristóteles y Tolomeo.

La relatividad óptica del movimiento es indudable. Por eso, dice Galileo desde el comienzo de la discusión, debe establecerse como «principio» [141]. «Establezcamos, pues, como principio de nuestra investigación que cualquiera que sea el movimiento que se le atribuya a la tierra es necesario que para nosotros —que habitamos en ella y, por lo tanto, participamos de tal movimiento— resulte totalmente imperceptible y como inexistente, en tanto que únicamente consideramos las cosas terrestres; pero, por el contrario, también es necesario que el mismo movimiento sea común a todos los demás objetos y cuerpos visibles que al estar separados de la tierra se encuentran privados de él. De tal forma que, llegado el caso, el modo más certero de investigar si un movimiento cualquiera puede ser atribuido a la tierra y, llegado el caso, saber cuál, es considerar y observar si en los cuerpos separados de la tierra se deja ver una apariencia de mo-

---

[139] Cf. *Dialogo*, I, pp. 57, 101, 139, 141.

[140] Copérnico, *De revolutionibus*, l. I, c. V; Galileo, *Dialogo*, II, páginas 139, 141.

[141] *Dialogo*, II, pp. 139 ss.

vimiento que conviene igualmente a todos...» Ese movimiento, común a los cuerpos separados de la tierra, es precisamente el movimiento diurno. Por eso, *optice* o *astronomice loquendo*, se puede atribuir bien a la tierra, bien a los cielos; o, como dice bromeando Sagredo[142], se puede atribuir el papel de *primum mobile* a la tierra o a los cielos.

En realidad, el «principio» establecido por Galileo es más amplio que el de la relatividad óptica; al plantear la imposibilidad de que percibamos el movimiento en el que nosotros mismos participamos, establece ya la relatividad *física* del movimiento. E incluso la establece como equivalente y equipolente a la relatividad óptica. En efecto, si el movimiento es totalmente imperceptible para quien participa en él, de ello se desprende que el movimiento de la tierra no tendrá influencia alguna sobre los fenómenos que suceden en ella. Lo que, en términos modernos, implica la atribución a todo movimiento, y en especial al *circular*, de las características del movimiento inercial.

Tendremos oportunidad de volver sobre esta cuestión. Ahora sigamos a Galileo: «Notemos pues: el movimiento es movimiento y actúa como movimiento sólo en cuanto está en relación con las cosas privadas de él; pero carece de efecto en lo que concierne a aquéllas que por igual participan todas de él; es como si no existiera[143]; por eso las mercancías de que va cargado un navío se mueven en la medida en que al dejar Venecia pasan por Corfú, Creta, Chipre y van a Alepo; pero Venecia, Corfú, Creta, etc. permanecen quietas y no se mueven con el navío. Pero para los fardos, cajas y otros bultos de que está cargado y lleno el navío, y con relación al navío en sí, el movimiento de Venecia a Siria es como inexistente y no cambia en nada sus relaciones mutuas; y esto ocurre porque el movimiento es común a todos ellos y porque todos participan de él por igual; y si entre las mercancías que se encuentran en el navío uno de los fardos se separara una pulgada de una caja, para el fardo respecto a la caja sería un movimiento mayor que el viaje de dos mil millas que juntos hicieron»[144].

A primera vista Galileo no hace ninguna innovación. Y parece que su doctrina podría ser aceptada por un aristotélico. Pero nada más que a primera vista. Pues hay que guardarse de confundir, como con demasiada frecuencia se hace, la relatividad

[142] *Dialogo*, II, p. 148.

[143] Con respecto al móvil mismo, el movimiento es «como nada»; ahora bien, la «nada» no tiene necesidad de «causa». Dicho de otro modo, el movimiento, en cuanto tal, actúa tan poco como el reposo, lo que permite situar a ambos en el mismo plano ontológico. Cf. *supra*, pp. 120 ss. y 309 ss.

[144] *Dialogo*, II, pp. 141 ss.

aristotélica del movimiento con la relatividad galileana (que por otra parte habría que llamar con mayor exactitud cartesiana o newtoniana). En efecto, para Aristóteles el movimiento en cuanto tal implica necesariamente una referencia, un punto de referencia. En particular, el movimiento local implica como punto de comparación un punto que no se mueva. Pero al considerar el movimiento no como una pura y simple relación entre dos términos sino, repitámoslo una vez más, como un proceso que en realidad afecta al móvil, el punto de comparación o de referencia debe ser un término efectivo y realmente inmóvil: el mundo, y en especial el centro inmóvil del mundo. No es así en la concepción galileana: el movimiento, concebido como estado-relación que no afecta al móvil no implica en ningún modo la existencia de un punto real y absolutamente en reposo; sólo implica la existencia de un punto o, más exactamente, de un cuerpo «privado» del movimiento en cuestión: los fardos con respecto a las cajas y viceversa, el navío con respecto a las cajas, Corfú y Candía con respecto al navío, etc... Y Galileo, justamente, concluye que el movimiento, en la medida en que es común a varios móviles, carece de efecto y es como inexistente en lo que concierne a las relaciones entre ellos, puesto que entre ellos nada se modifica y puesto que sólo produce efecto en lo que concierne a las relaciones que estos móviles tienen con otros privados de dicho movimiento.

La respuesta a los argumentos anteriormente expuestos por Salviati se desprende fácilmente: en efecto, si la piedra y la torre participan juntas del mismo movimiento de la tierra, este movimiento será como inexistente para ellas, y todo sucederá como si en realidad no existiera, es decir, como si la tierra estuviera en reposo. Lo cual entraña, digámoslo enseguida, consecuencias muy serias: en especial, la compatibilidad de todos los movimientos; e incluso más: el hecho de que ningún movimiento puede estorbar a otro; el hecho de que, el uno con respecto al otro, los movimientos (que animan a un solo y mismo móvil) son como inexistentes. Ahora bien, esto es precisamente lo que el aristotélico no puede admitir. En efecto, para él los movimientos expresan la naturaleza del móvil, y están, en sí, naturalmente cualificados. Para él, el movimiento no debe ser considerado fuera del móvil o del motor, como un ente que existe en sí; y los diferentes movimientos, según sean compatibles o no con la naturaleza del móvil, resultan igualmente compatibles o no entre sí. Por eso no admitirá la réplica galileana. Si la tierra girara, el movimiento circular de la tierra sería de un orden y de una naturaleza enteramente diferentes a los del

movimiento rectilíneo de la caída, y no habría razón alguna para que se combinaran. No hay duda de que si se le presionara, admitiría que es posible conseguir que un grave ejecute dos movimientos a la vez, pero esto sería justamente un caso de movimiento «mecánico» y, al menos parcialmente, violento [145].

Ahora bien, la piedra desciende en caída libre. ¿Qué es pues lo que la obliga a seguir el movimiento de la torre? Si, como bien se supone, nada la une a la torre, es poco verosímil que lo haga. Al contrario, es mucho más verosímil admitir que la piedra que cae desde lo alto de la torre se comportaría (si la tierra girara) de forma muy diferente a como de hecho se comporta, a saber, «al igual que la piedra que cae de lo alto del mástil de un navío que, como lo prueba la experiencia, cae al pie del mástil cuando el navío permanece inmóvil y lejos de él (quedando atrás) cuando el navío se mueve sobre las olas» [146]. Aquí es fácil reconocer el argumento de Tycho. Pero en realidad, al proponerlo, se le fue la mano a Tycho. Al aceptar poner en el mismo plano los procesos terrestres (el navío) y cósmico (la tierra) traicionó en buena medida la postura aristotélica, basada en su totalidad —como desde el comienzo del *Dialogo* tuvo buen cuidado de decírnoslo Galileo— [147] en la diferencia *esencial* entre las leyes de la tierra y las del cielo. Y Galileo, por supuesto, sabría sacar partido de esto al concluir, como Bruno, del navío a la tierra, de la tierra al cielo [148].

---

[145] Nos parece indudable que la concepción galileano-cartesiana del movimiento, tomada al pie de la letra, es contradictoria, y que la ley de la inercia implica, en último término, la concepción newtoniana de movimiento y de reposo absolutos. Pero éste no es lugar para discutir esta cuestión que ha dado ya mucho que hablar. Véase el resumen de las discusiones en E. Mach, *Die Mechanik*, etc., 8.ª ed., pp. 231 ss. Cf. igualmente P. Duhem, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, Montligeon, 1907, y A. Sesmat, *Systèmes de références et mouvements*, fasc. II, *Mécanique newtonienne et gravitation*, fasc. IV, *Le système absolu de la mécanique*, París, 1937.

[146] *Dialogo*, II, p. 167.

[147] *Dialogo*, II, p. 42.

[148] La finalidad que persigue la discusión de los argumentos clásicos contra el movimiento de la tierra es doble; ante todo se trata de echar por tierra la concepción tradicional de los dos mundos y de las dos físicas, de afirmar la unidad fundamental de la naturaleza y de sus leyes; se trata, seguidamente, de elaborar y hacer que penetre en la conciencia de sus lectores-oyentes una nueva teoría, o, más exactamente, una nueva concepción del movimiento.

Ahora bien, la afirmación de la unidad de la naturaleza conduce sin duda a la igualación por *abajo*, en la cual la naturaleza celeste pierde sus privilegios y se encuentra reducida al nivel de la naturaleza terrestre; pero comienza por un movimiento en la dirección exactamente opuesta. la igualación por *arriba*, la atribución a la tierra y a la naturaleza terrestre de las propiedades y privilegios de la naturaleza del cielo. Por eso no son

Por eso precisa:

SALVIATI[149]: «Decís que cuando el navío está inmóvil la piedra cae al pie del mástil y cuando se mueve cae lejos de esa base; a la inversa, del hecho de que la piedra caiga al pie del mástil se infiere que el navío está inmóvil, y del hecho de que caiga lejos se desprende que el navío está en movimiento; y, del mismo modo, de la caída de la piedra cerca del pie de la torre se infiere la inmovilidad de la tierra. ¿No es este vuestro razonamiento?». Y, al asentir Simplicio, prosigue Salviati: «Pues bien, decidme: si la piedra dejada caer desde lo alto del mástil cuando el navío marcha a gran velocidad cayera precisamente en el mismo punto del barco en el que cae cuando el navío está inmóvil, ¿de qué ayuda os servirá esa caída para aseguraros de que el barco está inmóvil o en marcha?». —SIMPLICIO: «Absolutamente de ninguna». —SALVIATI: «Muy bien, ¿Habéis hecho ya este experimento con el navío?». —SIMPLICIO: «No lo he hecho; pero creo que los autores que lo presentan [como argumento] lo han observado cuidadosamente; además, la causa de la diferencia se reconoce con tal claridad que no deja lugar a dudas».

Nunca ha hecho nadie este experimento, replica Salviati[150].

---

los astros los que se ven primeramente asimilados a la tierra, sino que, al contrario, es la tierra la que se ve transformada en un astro y por ello dotada de un movimiento circular *natural.* Solamente más tarde se invierte el impulso, la asimilación cambia de sentido, y el hombre se da cuenta del verdadero significado del mensaje sideral. En efecto, si la tierra es un astro, los astros, a su vez, no son más que tierras...

[149] *Dialogo,* II, pp. 169 ss.

[150] *Dialogo,* II, pp. 171, 208. Galileo tiene razón: nunca ha hecho nadie este experimento, lo que no impide a un Antonio Rocco escribir, y eso después de la publicación del *Dialogo: Esercitazioni filosofiche di Antonio Rocco, Opere,* vol. VII, p. 677: *«Che un sasso cadente dall' albero della nave corrente venga direttamente al piede dell'albero, io non lo credo; e quando lo vedessi, m'ingegnerei trovarli altra cagione che la rivoluzione della terra* (!).» De hecho, el experimento del navío sólo fue realizado en 1641 por Gassendi, y tuvo una gran repercusión: cf. *Recueil de lettres des sieurs Morin, De la Roche, de Nevre et Gassend, et suite de l'apologie du sieur Gassend, touchant la question «De motu impresso a motore translato»,* à Paris, chez Augustin Courbé..., MDCL, prefacio: «Habiendo estado siempre muy interesado el señor Gassendi en tratar de justificar mediante experimentos la verdad de las especulaciones que le proponía la filosofía y encontrándose en Marsella con monseñor el conde de Allais, en el año 1641, demostró, en una galera que salió expresamente a la mar por orden de ese príncipe, más ilustre por el amor y conocimiento que tiene de las buenas cosas que por la grandeza de su nacimiento, que una piedra dejada caer de lo más alto del mástil, mientras que la galera boga con toda la fuerza y velocidad posible, cae donde lo haría si la misma galera estuviera detenida e inmóvil; navegue o no la galera, la piedra cae siempre a lo largo del mástil y a su pie y en la misma parte. Este experimento, hecho en presencia de monseñor el conde de Allais y de gran número de personas

Todos esos autores se han atenido a la autoridad de sus predecesores, pues si hubieran hecho el experimento habrían visto como lo verá quienquiera que lo haga, que la piedra cae al pie del mástil, y que de este hecho no se puede concluir nada ni en favor ni en contra del movimiento del navío; como tampoco del hecho de que la piedra caiga al pie de la torre se puede sacar ninguna conclusión ni en favor ni en contra del movimiento de la tierra. Ahora le llega a Simplicio el turno de plantear la pregunta: «Y vos, que con tanta seguridad habláis, ¿habéis hecho ya este experimento? Pues si ni vos ni los otros lo habéis hecho, resulta inútil la discusión, puesto que allí donde se trata de cosas tan alejadas de la razón humana sólo la experiencia puede aportar una decisión» [151].

El lector moderno encontrará quizá que el aristotélico Simplicio tiene razón por esta vez. En efecto, entre dos teorías rivales y opuestas, ¿cómo se puede decidir a no ser por experiencia? Por eso esperará probablemente ver a Salviati proporcionar a Simplicio el relato detallado de ese experimento y quedará sorprendido al oírle proclamar que es perfectamente inútil; no sólo inútil para él, Salviati, sino también para Simplicio, que en ese instante acaba de reclamarlo.

SALVIATI [152]: «Y yo, sin experimento, estoy seguro de que el efecto se seguirá como os he dicho, puesto que es necesario que así sea; y añado, además, que vos mismo sabéis que no puede ser de otra forma, aunque pretendáis o tratéis de fingir que no lo sabéis. Pero soy *tan buen partero de cerebros* [153] que os lo haré confesar a la fuerza».

Detengámonos aquí un instante. El pasaje que acabamos de citar —y que de ninguna manera es un pasaje aislado en la obra de Galileo— [154] nos parece revestir importancia capital: en nuestra opinión, determina la interpretación de toda la obra galileana. Y, por consiguiente, de la física clásica en general.

En realidad, ¿de qué se trata? Simplemente, del papel y del

---

que allí asistieron, parece tener algo de paradójico para muchos de los que no lo habían visto; lo que motivó que el señor Gassendi compusiera un tratado *De motu impresso a motore translato* que vimos de él el mismo año en forma de carta escrita al señor Du Puy.»

[151] *Dialogo*, II, p. 169.

[152] *Dialogo*, II, pp. 171 ss. Cf. *Carta a Ingoli*, VI, pp. 542, 546.

[153] El subrayado es nuestro.

[154] Cf. *Il saggiatore* (*Opere*, VI, p. 328); *Carta a Ingoli* (*Opere*, vol. VI, página 545): «*Io sono stato doppiamento miglior filosofo di loro, perchè loro al dir quello ch'è il contrario in effeto hanno anco ajunto la buggia, dicendo d'aver ció veduto dall'esperienza, ed io ne ho fatto l'esperienza, avanti la quale il natural discorso mi aveva molto fermamente persuaso che l'effectto doveza succedere come appunto succede.*»

lugar de la experiencia en la ciencia. Ahora bien, la mayoría de las veces se nos dice que la ciencia clásica se basa ante todo en la experiencia, que opone al apriorismo estéril y verbal de la física escolástica la riqueza y fecundidad del razonamiento experimental. Por eso se suele ver en Galileo al observador prudente y sagaz[155], al fundador del método experimental[156], al hombre que pesa, mide y calcula, y que, negándose a seguir la vía del razonamiento abstracto, *a priori*, a partir de principios, trata, por el contrario, de fundar la nueva ciencia sobre la sólida base de lo empírico. Y sin duda con razón. Está claro que lo que condujo a Kepler a la reforma de la astronomía fue la observación del movimiento real de los planetas; está igualmente claro que Galileo asestó un golpe mortal al cosmos medieval al apuntar con su telescopio a la bóveda celeste, al observar el cielo; también es cierto que la obra de Galileo está llena de llamadas y recursos a la experiencia y a la observación[157]: experimento del péndulo, del plano inclinado, etc... y de ataques violentos contra aquéllos que se niegan a admitir lo que ven cuando lo que ven es contrario a sus principios (por ejemplo, a admitir que los nervios parten del cerebro y no del corazón, cuando Aristóteles enseñaba lo contrario)[158], o incluso a mirar, por miedo a ver cosas que sus principios declaran imposibles[159]; llena también de pasajes en los que Galileo proclama la infinita riqueza de la naturaleza y condena la petulancia de quienes pretenden poder decir de antemano lo que es capaz o no de hacer... Y, sin embargo, no es Salviati, portavoz de Galileo, sino el aristotélico Simplicio el que se presenta como campeón de lo experimental y es, por el contrario, Salviati quien proclama su inutilidad.

Volveremos de nuevo sobre este problema. Por el momento recordemos el hecho: la buena física se hace *a priori*[160].

La prueba es que, como proclama Salviati, con gran sor-

---

[155] Cf. E. Jouguet, *Lectures de mécanique*, París, 1924, vol. I, p. 111.

[156] Cf. E. Mach, *Die Mechanik*, pp. 127 ss.

[157] Una gran parte de la primera jornada del *Dialogo* está consagrada al experimento óptico de la reflexión de la luz sobre superficies planas y rugosas; y a la demostración experimental de la paradoja de que un espejo iluminado por el sol parece, generalmente, más oscuro que el muro sobre el que está colocado, así como del hecho de que una esfera pulida es muy poco visible. Galileo concluye que si la luna fuera una esfera semejante, probablemente no la veríamos en absoluto. Véase *Dialogo*, I, pp. 91 ss.; *Il saggiatore*, p. 281.

[158] *Dialogo*, II, p. 134.

[159] *Dialogo*, II, p. 138.

[160] Sólo después de la deducción se instituye la experiencia: cf. el pasaje de la *Carta a Ingoli*, citado *supra*, p. 214.

presa e incluso indignación de Simplicio, el propio Simplicio no tiene necesidad de recurrir a la experiencia para reconocer la verdad. Pues las cosas de que se trata no están en modo alguno «alejadas de la razón humana», sino que, al contrario, son las que están más próximas a ella. Tan próximas que antes de toda experiencia ya está el hombre en posesión de los verdaderos principios de la naturaleza del mundo físico; sabe la verdad aunque no se dé cuenta; por eso no es preciso enseñársela (cosa que, además, es imposible); basta con plantearle preguntas apropiadas para demostrarle (y demostrarnos) que ya la conoce.

Así, reemprendiendo los análisis mediante los cuales el joven Galileo había comenzado en Pisa el estudio del movimiento, Salviati le pregunta a Simplicio[161]: «Entonces, decidme: si tuviérais una superficie plana, pulida como un espejo y de materia dura como el ágata, que no se encontrara paralela al horizonte sino un poco inclinada, y si sobre esa superficie pusiérais una bola perfectamente esférica y de materia pesada y sumamente dura como, por ejemplo, el bronce, y la dejárais en libertad, ¿qué creéis que hará? ¿No creéis (así lo pienso) que permanecerá inmóvil? —SIMPLICIO: «¿Si la superficie estuviera inclinada?». —SALVIATI: «Sí, pues es así como se supone que está». —SIMPLICIO: «No creo que la bola se detenga de ninguna forma, sino que tengo la seguridad de que se moverá espontáneamente siguiendo la inclinación».

Nadie ha enseñado la respuesta a Simplicio. Su criterio natural se la ha dictado: he aquí la prueba —para el lector—[162] de que la experiencia reclamada por Simplicio no siempre es necesaria. Y el empleo por Salviati del método socrático (es imposible, en efecto, no reconocerlo y no pensar en el *Teeteto* y en el *Menón)*, nos permite entrever el significado de su apriorismo y observar que milita bajo la bandera de Platón. Salviati puede, pues, continuar[163]: «¿Y cuánto durará el movimiento de esa esfera, y con qué velocidad? Fijaos bien que he dicho una esfera perfectamente redonda y un plano perfectamente liso, a fin de descartar todo impedimento externo y accidental; y quiero también que hagáis abstracción de la resistencia del aire y de cualquier otro obstáculo que pudiera haber»[164]. —SIMPLICIO: «Lo he comprendido muy bien; y a vuestra pregunta

[161] *Dialogo*, II, p. 171. Cf. *supra*, pp. 66 ss.

[162] Repetimos: no olvidemos jamás el papel del lector. En realidad, es el personaje más importante del diálogo.

[163] *Ibid.*, p. 172.

[164] Una superficie perfectamente lisa, una esfera perfectamente redonda, etc. Estamos en el mundo arquimediano de la geometría realizada, no en el mundo de la realidad sensible. Cf. pp. 70 ss.

respondo que esa bola continuará moviéndose *in infinito* siempre que el plano se prolongue de igual modo; tendrá un movimiento continuamente acelerado, pues la naturaleza de los móviles graves es tal que *vires acquirit eundo*, y la velocidad será tanto mayor cuanto mayor sea el declive». —SALVIATI: «Pero si se deseara que esa esfera se moviera hacia arriba por esa misma superficie, ¿creéis que lo haría?». —SIMPLICIO: «Espontáneamente, no; pero lo haría si fuera empujada o lanzada con violencia». —SALVIATI: «Y si hubiera sido empujada por el *impetus* en ella violentamente impreso, ¿cuál sería su movimiento, y cuánto duraría?». —SIMPLICIO: «El movimiento se iría deteniendo, y continuamente disminuiría, porque sería un movimiento antinatural; y sería más largo o más breve según fuera más o menos fuerte el *impulso*[165] y según fuera más o menos grande el declive». —SALVIATI[166]: «Así pues, habéis explicado los accidentes de un móvil sobre dos planos diferentes; y decís que en el plano inclinado el móvil grave desciende espontáneamente y va acelerándose de forma constante, y que para retenerlo en reposo se precisa hacer uso de la fuerza; pero que en el plano ascendente se necesita una fuerza para lanzarlo e incluso para retenerlo, y que el *movimiento*[167] en él impreso se va debilitando constantemente hasta que, al fin, se anula. También decís que en ambos casos la diferencia nace de la mayor o menor inclinación o elevación del plano, y que de una mayor inclinación resulta una mayor velocidad; y que, por el contrario, en el plano que se eleva, el mismo móvil, lanzado con la misma fuerza, se mueve a distancia tanto mayor cuanto menor sea la elevación. Ahora bien, decidme lo que le ocurrirá al mismo móvil en una superficie que no sea inclinada ni elevada». —SIMPLICIO: «Aquí es necesario que piense un poco la respuesta. Al no tener declive la superficie, no puede existir inclinación natural al movimiento, y al no haber elevación, no puede existir resistencia natural a ser movido. Por eso, la bola habrá de permanecer indiferente entre la propulsión y la resistencia al movimiento; me parece, pues, que habrá de permanecer naturalmente quieta (en reposo»). —SALVIATI: «Yo también lo creo, cuando se la deja inmóvil; pero si se le diera un *impetus* hacia algún lado, ¿qué ocurriría?».—SIMPLICIO: «Ocurriría que se movería hacia ese lado». SALVIATI: «¿Pero qué movimiento será ese? ¿Continuamente acelerado, como en el plano inclinado, o sucesivamente retardado, como en el ascendente?». —SIMPLICIO: «No veo ninguna

[165] El subrayado es nuestro. El texto en italiano dice *impulso.*
[166] *Dialogo,* II, pp. 172 ss.
[167] El subrayado es nuestro. El texto en italiano dice *movimento.*

causa de acelaración ni de deceleración, ya que no hay ni declive ni elevación». —SALVIATI: «Sin duda; pero si no existe causa de retardo mucho menos todavía la habrá de inmovilidad [168]; ¿cuánto tiempo estimáis, pues, que continuará moviéndose el móvil?». —SIMPLICIO: «Tanto tiempo como dure la longitud de esa superficie que ni baja ni se eleva». —SALVIATI: «Por consiguiente, si este espacio no tuviera fin, ¿también el movimiento sería sin fin, es decir, eterno?». —SIMPLICIO: «Así lo creo, a condición de que el móvil esté hecho de una materia capaz de durar».

El principio de la persistencia eterna del movimiento horizontal —y de la persistencia de su velocidad— se dan ya por descontadas. Y los historiadores de Galileo —y los de la física— citan este pasaje, lo mismo que otros análogos, como una fórmula restringida del principio de inercia [169]. Mas en realidad, lo mismo que en Pisa, Galileo no puede hacer abstracción de la pesantez, cualidad natural de los graves, y, lo mismo que en Pisa, no puede olvidar que el *plano horizontal real es una superficie esférica.* La continuación del debate lo muestra muy bien.

—SALVIATI [170]: «Esto —el carácter perdurable del móvil— ya está admitido desde el momento en que se ha decidido suprimir todos los obstáculos accidentales y externos, y en este caso, la fragilidad del móvil es uno de los obstáculos accidentales [171]. Decidme, pues: ¿cuál creéis que es la causa de que la bola se mueva espontáneamente en el plano inclinado y de que no lo haga sin violencia en el que sube?». —SIMPLICIO: «El hecho de la propensión que tienen los cuerpos graves a moverse hacia el centro de la Tierra y a no moverse hacia la circunferencia de no ser por la violencia: ahora bien, el plano inclinado es aquél que aumenta la proximidad del centro, y el elevado el que aumenta su alejamiento». —SALVIATI: «De ese modo, para que una superficie no fuera ni inclinada ni elevada sería preciso que en todas sus partes estuviera igualmente alejada del centro. ¿Pero existen en el mundo semejantes superficies?». —SIMPLICIO: «No faltan. Por ejemplo, la de nuestro globo terrestre, siempre que esté bien pulida y no tal como es, rugosa y cubierta

---

[168] La inmovilidad no es presentada por Galileo sino como el grado infinito de la lentitud. Ahora bien, como Galileo no admite el paso brusco de uno de esos estados al otro (II, pp. 59, 63), una causa que provoca la detención debe provocar una disminución progresiva del movimiento. Y a la inversa, si no existe causa de disminución del movimiento no puede haber causa o principio de reposo. Está perfectamente clara la oposición a Aristóteles, a la física del *impetus*, a Kepler. Cf. *supra*, pp. 180-181.

[169] Cf. E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, vol. XV, pp. 14 ss., 132 ss., 134.

[170] *Dialogo*, II, p. 173. Cf. *Ibid.*, I, p. 53.

[171] Para el aristotélico éste es un obstáculo *esencial.*

de montañas, sino tal como una superficie de agua tranquila y plácida». «Ahora bien —responde Salviati— ¿no es el mar una superficie así? Por lo tanto, el navío que se mueva sobre tal superficie, una vez conferido el impulso, se moverá uniforme y eternamente. La piedra que se halla en la punta del mástil de este navío, ¿no se mueve también, llevada por éste, sobre la circunferencia de un círculo y, por consiguiente, con un *movimiento que en ella es indeleble* [172] mientras se dejen de lado los obstáculos exteriores? Y ese movimiento ¿no es de una velocidad igual a la del navío?».

Henos aquí, pues, de nuevo, ante el clásico problema de la persistencia del movimiento en el móvil separado del motor; y, al parecer, en la misma situación que Bruno [173]. ¿Tendremos que escoger, como Bruno, entre la teoría aristotélica de la influencia del medio y la doctrina parisiense del *impetus?* [174].

Sí y no. Sin duda, la doctrina aristotélica debe ser pura y simplemente rechazada; pero la teoría parisiense no debe ser adoptada tal cual; experimentará o, más exactamente ya ha experimentado una profunda modificación: el *impetus* ha dejado de ser entendido como la *causa* del movimiento; ahora se identifica con el movimiento en sí.

La objeción más fuerte de los aristotélicos a la doctrina del *impetus* era ontológica: un accidente no pasa de un cuerpo a otro; por eso el *impetus* no puede hacerlo. Cierto, responde Galileo, si es que el *impetus* significa fuerza que causa el movimiento; pero el *movimiento mismo* sí se transmite.

Contra la teoría aristotélica, Galileo utiliza los viejos argumentos «parisienses»: El viento, que levanta fácilmente una pluma, o un corcho, pero no puede levantar una piedra o una bala de cañón... mientras que la piedra o la bala, lanzadas con la mano o la bombarda vuelan mucho más lejos que la pluma o el pedazo de corcho; el péndulo pesado, cuyo movimiento dura mucho más que el del péndulo ligero; la flecha que vuela contra el viento y vuela mejor cuando es lanzada con la punta hacia adelante que cuando lo es atravesada... El error de Aristóteles, que sitúa la motricidad en el aire, consiste en confundir la facilidad de ser movido con la facultad de acumular y conservar el movimiento. La primera va unida sin duda a la levedad; y la segunda, por el contrario, a la pesantez. Es verdad que el medio puede tener influencia sobre el movimiento del móvil: ge-

---

[172] El subrayado es nuestro. El texto en italiano dice *d'un moto indelebili in lei.*

[173] Cf. *supra*, pp. 159 ss.

[174] Tal es la interpretación de Duhem; cf. *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, pp. 560 ss.

neralmente hablando, es un obstáculo; pero el movimiento del móvil es propio del móvil. De donde se deduce que el *impetus* con el cual se mueve el navío permanece *indeleblemente impreso* en la piedra después de que ésta se separa del mástil... y que ese movimiento no ocasiona ni impedimento ni detención en el movimiento «natural» de la piedra hacia abajo; y de aquí se desprende que, aunque con la velocidad del navío pueda ser alargada a voluntad la trayectoria real de la piedra, ésta, no obstante, no tardará más en recorrerla de lo que tarde en caer al pie del mástil con el navío en reposo. Y que una bala de cañón lanzada horizontalmente desde lo alto de una torre caerá a tierra —aunque haya recorrido dos, tres, seis o diez mil pasos— exactamente en el mismo momento que una bala que desde lo alto de esa torre cayera directamente sin haber recibido ningún impulso [175].

Nos tememos que no serán estas paradójicas y maravillosas conclusiones las que reconcilien a Simplicio con la doctrina galileana de la relatividad del movimiento y de la independencia mutua de los *impetus*. Los escrúpulos están lejos de haber desaparecido. Es posible, nos dice amablemente, que sea culpa suya, por no ser tan rápido de comprensión como Sagredo. Sea como sea, le parece «*que si este movimiento en el que participa* [176] la piedra debiera conservarse en ella *de manera indeleble* [177] tras su separación del navío, de ello se desprendería que si alguien, sobre un caballo a todo galope, dejara caer de sus manos una bola, ésta, al caer a tierra, debería continuar su movimiento de forma similar y seguir al caballo en su carrera sin quedar atrás, cosa que no creo que suceda a no ser que el jinete lance la bola en dirección de la carrera, pues de otra forma pienso que la bola quedará en tierra en el lugar donde caiga».

Sin duda que en el lector moderno se observará un movimiento de impaciencia. Dirá: ¿para qué esas repeticiones interminables? ¿Es que no está claro que el ejemplo de Simplicio no aporta nada nuevo y no aclara en modo alguno la discusión? Quizá sospeche incluso que Galileo se quiere burlar del aristotélico, presentándolo como más bruto de lo normal. Pero se equivocará. El ejemplo del jinete aporta algo nuevo y nos permite dar un paso adelante. Y Galileo, al hacer que sea alegado por Simplicio, no se burla de él, sino que, al contrario, nos lo muestra como muy inteligente.

---

[175] *Dialogo*, II, p. 180. Es Sagredo, la *bona mens*, quien desarrolla las consecuencias de la doctrina galileana.

[176] *Dialogo*, II, p. 181. El subrayado es nuestro: *moto participato dalla pietra*.

[177] El subrayado es nuestro.

Ciertamente, los dos casos, el de la bola que cae desde lo alto del mástil y el de la bola dejada caer por el jinete, son idénticos para nosotros. Pero no para la física del siglo XVI: no es lo mismo lanzar una bola que dejarla caer. Gassendi tendrá que disertar todavía sobre esto[178]. Además, la bola que cae desde lo alto del mástil se separa de él, claro está, pero menos radicalmente que la que el jinete deja caer. Pues continuar su movimiento en el aire *antes* de haber caído a tierra es algo muy diferente a continuarlo *después* de haber caído.

Por eso va a mostrarnos Galileo la equivalencia de ambos casos, diferenciados por Simplicio, a saber, de «lanzar» y «soltar» la bola[179]: «Cuando la lanzáis con el brazo, ¿qué queda en la bola, salida de la mano, sino el *movimiento*[180] engendrado por vuestro brazo, movimiento que conservado en ella la continúa llevando más lejos? Ahora bien, no importa que este *impetus* sea conferido a la bola por vuestro brazo o que lo sea por el caballo: ¿o es que la mano, y por consiguiente la bola, no corre tan deprisa como el mismo caballo? Sin duda alguna. Así pues, cuando se abre la mano, la bola parte de ella con un *movimiento*[181] ya engendrado no por vuestro brazo, mediante vuestro movimiento particular, sino por el *movimiento*[181] dependiente del del caballo, que llega a serle comunicado a vos, al brazo y, finalmente, a la bola. Por eso os diré además que si [mientras corre], el jinete, lanzara esa bola con su brazo en dirección opuesta a la de su carrera, la bola, al llegar a tierra, aunque hubiese sido lanzada en la dirección opuesta, seguirá unas veces la carrera del caballo, y otras quedará inmóvil, y sólo se moverá en dirección opuesta a la de la carrera si el *movimiento*[181] que ha recibido del brazo posee *una velocidad superior*[181] a la de la carrera. Y lo que algunos dicen de que el jinete podría arrojar una lanza al aire en la dirección de su carrera, seguirla a caballo y finalmente atraparla, es una tontería, pues para que el proyectil os caiga de nuevo en las manos hay que lanzarlo hacia arriba, de la misma manera que si estuviera inmóvil...», lo que ya se da por sentado, porque la flecha, o cualquier otro objeto lanzado por el jinete, al haber participado de su movimiento, lo conserva al ser

---

[178] Mersenne, en el prefacio a su traducción de *Le mecaniche* de Galileo (París, 1634) repara con sorpresa en el hecho alegado por Simplicio; véase también Gassendi, *De moto impresso a motore translato*, París, 1642, pp. 22 ss.

[179] *Dialogo*, II, p. 182. Toda la primera parte del *De moto*... de Gassendi está consagrada a establecer esta equivalencia.

[180] El subrayado es nuestro.

[181] El subrayado es nuestro.

lanzado al aire; o, si se prefiere, porque en el sistema mecánico del jinete y la lanza (al igual que en el sistema mecánico del navío), el movimiento común es como si no existiera.

Sería demasiado extenso, y para nosotros bastante inútil, analizar con detalle los hechos mediante los cuales, al acudir volando en ayuda de Salviati, Sagredo —y también el propio Salviati— pasan a ilustrar los grandes principios de la física galileana: la relatividad, la interindependencia y la conservación del movimiento. Estos «casos» de aspecto paradójico y sorprendente —el caso de la carta escrita a bordo de un navío en movimiento; el caso de la bola que se echa a rodar por planos inclinados fijados en los costados de una carroza en movimiento y que ora se detiene o incluso va hacia atrás, ora, llegada a tierra, corre hacia adelante e incluso, en su carrera, adelanta a la carroza; el caso de los jugadores que, al imprimir a la bola un movimiento de rotación, pueden, lanzándola hacia adelante, hacerla rodar hacia atrás; el caso de la bola que, ora rodando, ora saltando en el aire, puede moverse tanto en el aire como en la tierra a velocidades diferentes...— [182] son aducidos para familiarizar al lector con los principios de la nueva física; y también —y no en último lugar— para disociar en su mente el movimiento-traslación y el movimiento-rotación. Pues en la nueva física ya no es sólo el movimiento de rotación el que se conserva por sí mismo, sino el movimiento a secas.

Sin duda el lector moderno pensará que ya está bien, que la discusión ha durado ya bastante. Lo que ocurre es que el lector moderno está convencido de antemano; hace ya mucho tiempo que está *familiarizado* con la noción clásica del movimiento. Pero el lector contemporáneo de Galileo no lo está. Y esta noción, la noción de algo que es y que no es, que se conserva y que pasa de un objeto a otro, le parece, y no sin razón, mucho más oscura aún que la noción aristotélica del movimiento-proceso. Es verdad que no niega los *hechos* aducidos por Sagredo. Pero duda; y, por boca de Simplicio, exige una vez más [183] el recurso a la experiencia. «Querría —nos dice— que encontrásemos algún medio de hacer un experimento concerniente al movimiento de los proyectiles...», y Sagredo propone tomar un carro descubierto, colocar en él una ballesta dándole una elevación media —aquella con la que el alcance del tiro sea mayor—, y, poniendo en movimiento el carro, disparar una vez en el sentido de la marcha, y otra vez en sentido con-

[182] *Dialogo*, II, pp. 186 ss., 197.

[183] *Dialogo*, II, p. 194. [Es Salviati —y no Simplicio— quien plantea tal exigencia. *N. del E.*]

trario, teniendo buen cuidado de marcar el lugar donde se encuentra el carro cada vez. De ese modo podrá verse si el alcance es mayor en una dirección que en otra [184].

El experimento le parece a Simplicio muy bien pensado [185]. Por eso nos dice [186]: «No dudo de que el alcance del tiro, es decir, la distancia entre el lugar donde la flecha se clava en tierra y el lugar en que, en ese momento, se encuentra el carro, será sensiblemente menor cuando se dispare en la dirección del movimiento que cuando se haga en sentido inverso. Pongamos, por ejemplo, que ese alcance es de trescientos codos; entonces, cuando se dispara en el sentido del movimiento, de los trescientos codos de ese alcance el carro habrá recorrido cien; de donde se sigue que en el momento del contacto [choque] de la flecha con la tierra, la distancia entre ella y el carro sólo será de doscientos codos; pero por el contrario, en el otro disparo, al moverse el carro en sentido inverso al de la flecha, cuando ésta haya recorrido sus trescientos codos y el carro sus cien codos en sentido inverso, la distancia entre ellos será de cuatrocientos codos». —SALVIATI: «¿Y no habría medio de hacer que esos tiros fueran de igual alcance?». —SIMPLICIO: «No conozco otro que no sea el de dejar el carro inmóvil». —SALVIATI: «Claro; pero pregunto: ¿y dejando correr el carro a toda velocidad?». —SIMPLICIO: «Quizá tensando el arco cuando se dispara en el sentido de la marcha, y aflojándolo cuando se dispara en sentido inverso». —SALVIATI: «Así pues, hay otro medio. Pero ¿cuánto habrá que tensar y cuánto que aflojar el arco?». —SIMPLICIO: «En nuestro ejemplo, en el que hemos supuesto que el arco disparaba a trescientos codos, sería necesario que, para disparar en el sentido de la marcha, se le tensara de modo que se alcanzaran cuatrocientos; y para disparar en el otro, se aflojara de modo que sólo alcanzaran doscientos, porque de tal forma ambos alcanzarían los trescientos codos de distancia del carro, el cual, con su movimiento de cien codos que resta al tiro de cuatrocientos y añade al de doscientos, reduciría a ambos a trescientos».

El razonamiento de Simplicio, digámoslo una vez más, no es en modo alguno absurdo. En la física aristotélica el movimiento del proyectil se produce por una reacción del medio, y de esto se sigue que el mencionado movimiento es perfectamente in-

---

[184] *Dialogo*, II, p. 194.

[185] Señalemos, de paso, que el experimento seguirá siendo «pensado». En efecto, en el galileísmo, los experimentos más importantes son «experimentos mentales».

[186] *Dialogo*, II, p. 195.

dependiente del de la fuente, del mismo modo que el movimiento de propagación de la luz lo es para nosotros.

El experimento imaginado por Sagredo es al argumento del cañón lo que el caso del navío en movimiento al del grave que cae desde lo alto de la torre. En uno y otro caso, de fenómenos de la física terrestre deducimos fenómenos de la física celeste. En uno y otro caso, eliminamos el carácter «natural» del movimiento.

Pero volvamos al *Dialogo.* Estamos en uno de los momentos decisivos. «Ahora bien, ¿cuál es el efecto que sobre la flecha produce la mayor o menor tensión del arco?» —pregunta Salviati [187]; y Simplicio responde: «El arco tenso la lanza a *mayor velocidad* [188], y el arco más aflojado, a *menor velocidad* [188]; y la misma flecha llega tanto más lejos cuanto mayor es la *velocidad* a la que es lanzada». —SALVIATI: «De modo que, para que la flecha disparada en uno u otro sentido se aleje igualmente del carro en movimiento, es preciso que en el primer tiro del ejemplo propuesto, la flecha parta con cuatro *grados de velocidad* [189], y que en el otro parta con dos. Pero si en ambos casos se usa el mismo arco, la flecha recibirá del arco *tres* grados».

—SIMPLICIO: «Eso es. Y por esa razón, si se tira con el mismo arco mientras el carro está en marcha no se podrán conseguir tiros de igual alcance». «Sin embargo —prosigue Salviati— [190], cuando el carro se mueve ¿es que las cosas que en él están no se mueven también, y a iqual velocidad?»... «Sin duda.» —«Así pues, tanto el arco como la fecha y la cuerda del arco, que participan en el movimiento del carro, poseen ya un *grado de velocidad* [189]. Por consiguiente, cuando la flecha es lanzada en el sentido del movimiento del carro, el arco imprime sus *tres grados de velocidad* [189] a una flecha que ya posee uno merced al carro que la lleva en esa dirección y a esa velocidad, de tal manera que cuando parte de la ballesta resulta tener *cuatro grados de velocidad* [189]; y, al contrario, cuando se tira en sentido inverso a la marcha el mismo arco confiere sus *tres grados* [*de velocidad*] [189] a una flecha que se mueve en sentido inverso con *un grado* [*de velocidad*], de tal forma que, una vez que se separa de la cuerda, sólo le quedan dos. Pero vos mismo habéis verificado que para igualar el alcance de los disparos sería preciso hacer que la flecha partiera una vez con cuatro y otra con dos *grados de velocidad* [189]. Por lo tanto, sin modificación del arco, es

[187] *Dialogo*, II, p. 195.
[188] El subrayado es nuestro.
[189] El subrayado es nuestro.
[190] *Dialogo*, II, p. 196.

el propio movimiento del carro el que ajusta los alcances, cosa que la experiencia demuestra a aquellos que no quieren o no pueden abrir los ojos a la razón[191]. Bien, pues aplicad este razonamiento al caso del cañón y encontraréis que, tanto si la tierra se mueve como si permanece inmóvil, los disparos que se hagan con la misma fuerza tendrán siempre igual alcance, sea cual fuere la dirección.»

Detengámonos aquí un momento.

Los resultados a los que hemos llegado —ley de la conservación del movimiento, uniformidad y persistencia indefinida del movimiento circular— fueron, a decir verdad, formulados desde un principio en el *Dialogo*[192]; y el principio de la relatividad del movimiento, principio que rige toda la discusión ulterior, se encuentra, como pudimos apreciar, planteado desde el comienzo de la segunda jornada. Pero esos principios, aunque evidentes de por sí, aunque —para emplear un término que si bien no es galileano podría serlo— *innatos* a la razón[193], son, sin embargo, tan extraños y comportan unas consecuencias tan sorprendentes que Simplicio, aun admitiéndolos, en el fondo no los acepta. Se rebelará a la primera ocasión. Lo que ocurre es que su mente —mente de hombre culto— está tan atestada de hábitos adquiridos, de nociones prefabricadas (las nociones de la escuela), que de buenas a primeras le es imposible pensar si no es con ayuda de esos conceptos tradicionales. Por más que —puesto que no le queda otro remedio y puesto que ha sido él mismo en cierto modo quien la ha deducido— admita la ley de la conservación del movimiento, como continúa concibiendo el movimiento con categorías aristotélicas, como el nuevo concepto del movimiento no está claro para él ni le es familiar, Simplicio va a caer inmediatamente en el nivel ya superado y a presentar de nuevo objeciones en principio ya refutadas. Hay, pues, que acostumbrarle a pensar en las nociones recién adquiridas[194].

Ahora bien, ¿como va a conseguir Galileo que esas nociones penetren en la mente del lector? ¿Hará lo que Descartes, rechazar simplemente la definición escolástica del movimiento para

---

[191] Para quienes pueden «abrir los ojos a la razón», esta experiencia —la *esperienza sensata* que busca Simplicio— es evidentemente inútil.

[192] Cf. *Dialogo*, I, p. 53.

[193] El innatismo galileano, como el de Descartes, es un reflejo del platonismo.

[194] Más exactamente, no es al propio Simplicio sino al lector a quien hay que educar. Pero el lector no puede ser educado si no es a través de Simplicio.

sustituirla por otra, la suya propia? En modo alguno. Galileo procede por deslizamiento. Sigue la tradición histórica, y desde este punto de vista el progreso alcanzado no es en modo alguno despreciable. La discusión de los argumentos de Aristóteles parte del punto donde la dejara Copérnico: distinción *cualitativa* entre movimiento natural y movimiento violento que explica la diferencia de sus efectos. Un deslizamiento insensible, y el movimiento *natural* de la tierra (que, en buena lógica, se explica por la «naturaleza» o la «forma» de ésta) es atribuido a los cuerpos que están en la tierra, no ya en virtud de una comunidad de naturaleza sino sólo en virtud del hecho de que participan en aquél. Nuevo deslizamiento, y el movimiento de la tierra no parece poseer un carácter privilegiado sino en virtud del hecho de que es circular, carácter que otro deslizamiento hace extensivo al navío que se desliza sobre el mar... El privilegio del movimiento *natural* ha desaparecido por completo. En adelante, el movimiento no se conserva porque es *natural* sino, sencillamente, porque es *movimiento*. Es el movimiento como tal el que se conserva y el que es *indeleblemente impreso* sobre el móvil; y el mismo Simplicio lo comprende y lo admite; en efecto, no busca la causa por la que perdura el movimiento de la bola absolutamente redonda que rueda por un plano horizontal: es suficiente que no exista causa alguna que la obligue a detenerse.

Igual táctica preside la transformación de la noción de *impetus*. Galileo comienza su ataque a la física aristotélica echando mano del arsenal de objeciones y nociones elaboradas y acumuladas por la física «parisiense». Pero, en realidad, ya hace mucho tiempo que, convencido del carácter bastardo y confuso de la misma concepción del *impetus* como causa y fuente del movimiento, Galileo la ha abandonado. Por eso, en el curso del *Dialogo* el *impetus* es identificado con el momento, con el movimiento, con la velocidad... deslizamientos sucesivos que, insensiblemente, llevan al lector a concebir la paradoja del movimiento que se conserva por sí solo en el móvil, de la velocidad «indeleblemente impresa» sobre el cuerpo en movimiento.

En principio, el privilegio del movimiento circular es batido en brecha: el que se conserva es el movimiento como movimiento y no como circular. En principio. Pero, en realidad, el *Dialogo* no va más lejos. Y por más que se haya dicho, nunca nos deslizamos ni nos deslizaremos hasta el principio de inercia. Nunca, ni en los *Discorsi* ni en el *Diálogo* afirmará Galileo la conservación eterna del movimiento rectilíneo. Y esto por la sencilla razón de que un tal movimiento rectilíneo de los *graves* es una cosa imposible, y de que —para Galileo— unos

cuerpos que no fueran graves dejarían de ser cuerpos y no podrían moverse en absoluto[195].

III. LA FISICA DE GALILEO

La física de Galileo es la física de los graves. La física de los cuerpos que caen. Que van hacia abajo. Por eso el movimiento de la caída desempeña en ella un papel de primer orden. Un papel tal que, digámoslo de una vez, la física de Galileo podría definirse como la física de la caída. En efecto, no sólo Galileo concibe el movimiento de la caída como un movimiento natural, sino que además es el único movimiento natural que admite.

Es evidente que el término «movimiento natural» no tiene para Galileo, o, si se prefiere, no tiene en la física galileana el mismo significado que tenía para Aristóteles. Aristóteles distinguía varios movimientos naturales que expresaban, por su misma variedad, las diferencias de naturaleza de los cuerpos que estaban animados por ellos. De éstos no queda sino uno solo en la física galileana. Además, este movimiento es común a todos los cuerpos. Sin duda eso nos indica una identidad de naturaleza[196], pero no nos la revela.

En la física galileana el movimiento no revela ni expresa jamás la naturaleza del móvil. Ya hemos tenido oportunidad de ver hasta qué punto el movimiento es en ella ajeno al móvil: como se recuerda, es algo que en sí no afecta al móvil —en sí, el movimiento es como nulo e inexistente—[197], y que el móvil no posee a no ser con respecto a otra cosa. Movimiento y reposo son puros accidentes. En el sentido estricto, aristotélico, de este término no hay por lo tanto para Galileo movimientos naturales, como tampoco hay movimientos violentos. La distinción aristotélica es, en realidad, inadmisible para Galileo, quien ya desde hacía mucho tiempo le habío dirigido la objeción de que no era exhaustiva ni absoluta y de que no se basaba en el movimiento como tal[198]. En efecto, los llamados movimientos naturales y violentos se transforman uno en otro:

---

[195] *Dialogo*, II, p. 193: «Sagredo. *Ma io, Sig. Salviati vo pur ora considerando un altra cosa mirabile: e questa è, che stanti queste considerazioni, il moto retto vadia del tutto a monte e che la natura mai non se ne serva, poichè anco quell'uso che da principio gli si concedette, che fu di ridurre al suo luogo le parti de i corpi integrali quando fussero dal suo tutto separate e però in prava disposizione costitute, gli vien levato, ed assegnato pur al mot circolare.*» Al margen: *Moto retto par del tutto escluso in natura.*

[196] Cf. pp. 64 ss. y 75 ss.

[197] Cf. pp. 150 ss. y 209 ss.

[198] Cf. *supra*, pp. 66 ss.

la bola lanzada al aire desciende, y la que baja por una pendiente sube por la vertiente opuesta; el peso del péndulo no se detiene en el punto más bajo de su carrera, sino que sube para bajar de nuevo, y si existiera un agujero a través de toda la tierra, una piedra que se lanzara por el agujero no se detendría en el centro de la tierra, sino que subiría a la superficie opuesta [199]: ejemplos clásicos de los teóricos de la física del *impetus* [200]; ejemplos que conocen un gran éxito y que Galileo se guardará de no reproducir.

Pero si esto es así, si en la física galileana los términos «natural» y «violento» aplicados al movimiento no tienen ya un significado teórico, ¿qué otra cosa pueden designar? Simplemente la distinción de sentido común entre los movimientos que se producen por sí mismos (la caída, el movimiento hacia abajo) y aquéllos que el cuerpo ejecuta sólo en virtud de la acción exterior (el lanzamiento, el movimiento hacia arriba). Ahora bien, estimamos que es de capital importancia el hecho de que Galileo mantenga dentro de su física la distinción del sentido común.

Volveremos sobre esta cuestión. Ahora sigamos con la caída. Todo el mundo lo sabe, y Galileo nos lo dice expresamente, que la caída es un movimiento natural *de los graves* [201]. Bien, pues en la física galileana todos los cuerpos son «graves». Ninguno se encuentra privado de peso. *A fortiori*, ninguno es «leve». A diferencia de Aristóteles, Galileo no admite que en los cuerpos exista una cualidad propia denominada «levedad». También es esa la razón de que para él el movimiento hacia arriba no sea natural, es decir, espontáneo. Ningún cuerpo se mueve *por sí mismo* hacia arriba. Si lo hace es porque es empujado y expulsado del sitio que ocupa por otros más pesados que él. Todo movimiento de ascenso es un movimiento de extrusión.

Estas ideas, que Galileo adoptó ya en sus primeros trabajos de física [202], no son, como sabemos, ni muy originales ni muy nue-

---

[199] Cf. *Dialogo*, I, pp. 46, 47; II, p. 253: «*Quando il globo terrestro fusse perforato, un grave descendente per tal foro passerebbe, ascendendo poi oltre al centro, per altretanto spazio quanto fu quel della scesa.*» Cf. *Ibid.*, página 262: «*Il moto naturale si converte per sè stesso in quello che si chiama preternaturale e violente.*»

[200] Cf. Duhem, *Etudes sur Leonard de Vinci*, III, pp. 185 ss. Apresurémonos a decir que estos ejemplos no son admitidos de ningún modo por los aristotélicos. Así, Antonio Rocco responde a Galileo en sus *Esercitationi filosofiche* (*Opere*, VII, p. 689): «*All' essemplio della Terra forata, io neghcrei liberamente e senza scrupulo alcuno che, giunta la palle al centro, seguisse il suo mote dalla parte dell'altro emisfero verso il cielo.*»

[201] *Dialogo*, I, p. 53.

[202] Cf. *supra*, pp. 62 ss.

vas. Antes que él las habían desarrollado ampliamente los nominalistas parisienses. Copérnico, y más tarde Benedetti, las habían enseñado. Bonamico las había expuesto. Y fue allí, sin duda, donde las encontró Galileo[203].

Por otra parte, Galileo no reivindica en modo alguno su paternidad. Si, a decir verdad, no nombra ni a Copérnico ni a Benedetti, sí afirma que esas ideas son muy antiguas y que su teoría de la pesantez como cualidad o propiedad general de los cuerpos no es sino la de los antiguos filósofos y en especial de Platón[204].

Para el joven Galileo, la gravedad, o la pesantez, es una propiedad natural de los cuerpos. Es incluso su *única* propiedad natural. Lo que explica muy bien que el movimiento de la caída sea natural y que sea un movimiento natural general.

En la física del joven Galileo, la pesantez, o la gravedad, es una fuente de movimiento. Y como es la única propiedad natural del cuerpo, es también la *única* fuente natural del movimiento; y como, por otra parte, es una propiedad natural *general* de *todos* los cuerpos, origina en todos los cuerpos un movimiento *natural* hacia «abajo».

Ya hemos podido apreciar que para la física del *Dialogo* —y también para la de los *Discorsi*— todos los cuerpos son graves; y que todo cuerpo colocado sobre un plano inclinado, o simplemente privado de soporte, «desciende» y se mueve naturalmente hacia abajo[205].

Podríamos, pues, sentir la tentación de definir la física de Galileo como la física de la pesantez, del mismo modo que la de Descartes ha sido definida como la física del choque y la de Newton como la física de la fuerza. Materialmente tendríamos razón. Formalmente, no la tendríamos. Pues en realidad Galileo se niega a ver en la gravedad una *cualidad natural* de los cuerpos; e igualmente se niega a considerar una *fuente,* o una *causa,* del movimiento «hacia abajo». Y esto por la simple razón de que es muy consciente de no saber cuál es. En realidad, para Galileo la pesantez, o la gravedad, no es una propiedad teórica de los cuerpos. Es una propiedad empírica, una cualidad del sentido común. Y eso explica la curiosa actitud de Galileo, quien, en el *Dialogo* y en los *Discorsi,* nos habla de los cuerpos *graves* y evita hablarnos de la *gravedad.*

Es cierto que desde el principio Galileo nos dice que la pesantez no es sino la tendencia natural de los cuerpos a moverse

---

[203] Véase Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum liber,* Taurini, 1585. Cf. pp. 47 ss., 27 ss.

[204] Cf. *Dialogo,* I, pp. 44 ss., y *De Motu,* p. 300.

[205] Cf. *Dialogo,* I, pp. 48 ss., 171 ss., y *Discorsi,* III, p. 205.

y dirigirse hacia el centro de la tierra, o hacia el centro de las cosas graves, ya sea éste el de la tierra o el de todo el Universo[206]; mas para poder extender el dominio de la gravedad al conjunto de los cuerpos, ¿no es necesario, justamente, comenzar por hablar un lenguaje aceptable y comprensible para todo el mundo, y especialmente para el aristotélico? También dirá Galileo que es necesario que el cuerpo tenga una propensión particular hacia algún lugar determinado para que de ese modo se ponga en movimiento: si no, el cuerpo permanecería tranquilamente en su lugar[207]. Y esta misma propensión le servirá para explicar la aceleración del movimiento y el hecho de que la caída se efectúe en línea recta. Sin embargo, no tomemos estas explicaciones al pie de la letra: nos encontramos al principio del *Dialogo*, y luego el panorama se modificará enteramente. Para comenzar, tendremos que disociar el centro de la tierra del centro del mundo —si es que existe tal centro, observa Galileo—, en cuyo caso estará sin duda alguna en el sol—[208] y explicarnos, tras Copérnico, el movimiento de la caída como una tendencia natural de las partes a unirse a su todo[209]. Pero, de nuevo, ésta no es sino una etapa, y la crítica galileana, que deshace progre-

[206] Cf. *Dialogo*, I, p. 58. La gravedad es *la naturale inclinazione delle parte di tutti i globi mondani d'andare a lor centri.*

[207] Cf. *Dialogo*, I, pp. 44, 56. Como Aristóteles, Galileo considera que el caso del reposo en su lugar es un caso imposible (con excepción del sol). Cf. *Ibid.*, p. 44: «Salviati: Todo cuerpo puesto en estado de reposo por cualquier causa, pero móvil por su naturaleza, dejado libre, se moverá siempre que tenga, por naturaleza, una propensión hacia algún lugar en particular; pero si fuera indiferente a todos (los lugares) permanecería en reposo, al no tener mayor razón para moverse hacia un lado más bien que hacia otro. Del hecho de tener esta propensión resultará que, en su movimiento, irá acelerándose continuamente; y comenzando por un movimiento extremadamente lento, no alcanzará ningún grado de velocidad a menos que haya pasado primero por todos los grados de velocidad menores, o, si se prefiere, (por todos los grados) de lentitud mayores; puesto que, al partir del estado de reposo (que es el grado de la lentitud infinita de movimiento), no hay ninguna razón por la cual deba entrar en un grado de velocidad determinado antes de entrar en uno menor, y en otro, aún menor, antes de éste; así, pues, es más conforme a la razón que pase primeramente por los grados de velocidad cercanos a aquél del que parte, y después por los más alejados; pero el grado (de velocidad) a partir del cual el móvil comienza a moverse es el de la lentitud suprema, es decir, del reposo. Ahora bien, esta aceleración del movimiento sólo tendrá lugar si el móvil, por su movimiento, adquiere algo; y esta adquisición no es sino el acercamiento al lugar deseado, es decir, a aquél al que le empuja su propensión natural; y se dirigirá allí por el camino más corto, es decir, en línea recta.»

[208] Cf. *Dialogo*, I, p. 58: «*Ma, si se puó assignare centro alcuno all'universo, troveremo in quello esser più presto colocato in Sole*», cf. III, página 349.

[209] *Dialogo*, I, p. 58; cf. Copérnico, *De revolutionibus*, l. I, c. V.

sivamente, a fin de reconstituirlas y reconstruirlas, las nociones tradicionales y básicas de la física, llega a negar a la noción de pesantez todo valor positivo de explicación.

Los cuerpos caen, es decir, las partes de la tierra son empujadas hacia «abajo». Ésta es una experiencia corriente. Pero eso es todo. Pues ignoramos la «causa» —externa o interna— de este movimiento. Decir «gravedad», «pesantez», «tendencia hacia abajo» o «tendencia hacia el centro» es designar el hecho; no es explicarlo. Por eso, a la indignada objeción de Simplicio, que afirma que todo el mundo conoce la causa de ese efecto (el movimiento hacia abajo) y que todo el mundo sabe lo que es la pesantez, responde Salviati [210]: «Cometéis un error, señor Simplicio; deberíais haber dicho: todo el mundo sabe que se le llama pesantez. Ahora bien, yo no os pregunto el nombre sino la esencia de la cosa, y de esa esencia no sabéis más de lo que sabéis de la esencia del principio del movimiento circular de las estrellas [211], del que conocéis el nombre que se le ha dado y que se nos ha hecho familiar y habitual debido a la frecuente experiencia que del mismo tenemos mil veces al día. En realidad no comprendemos cuál es el principio y la virtud que mueve la piedra hacia abajo, como tampoco sabemos qué es lo que la empuja hacia arriba cuando se separa de lo que la proyecta, ni qué es lo que mueve a la luna en círculo, de no ser, como he dicho, el nombre propio y especial de *gravedad* que hemos asignado al primero, mientras que para el otro empleamos el término más general de *virtud impresa* [212], y para el último hablamos de la inteligencia, o de forma asistente, o informante; y a infinidad de otros les damos por razón la *naturaleza*».

Se ve claro el camino recorrido desde Pisa: entonces se declaraba que la levedad no era sino un simple «nombre» empleado —y falsamente sustancializado— para designar los efectos (el movimiento hacia arriba) de una causa subyacente. Ahora la pesantez comparte su suerte: también ella es sólo un «nombre»... como un «nombre» —¡nada más que un nombre!— es también la famosa *vis impressa*, el *impetus* de la escuela parisiense, pretendida causa interna del movimiento del objeto proyectado.

---

[210] *Dialogo*, II, p. 260.

[211] *Ibid.*: «Simplicio: Bien. Pero como los graves y los leves no pueden tener el principio, ni interno ni externo, de moverse circularmente, el globo terrestre no se moverá, tampoco, con un movimiento circular.» «Salviati: Yo no he dicho que la tierra no posea ningún principio, ni interno ni externo, de movimiento circular; digo que no sé cuál de los dos posee, y mi no-saber no tiene fuerza para quitárselo. Pero... será el mismo que el de los otros cuerpos celestes.»

[212] El subrayado es nuestro.

Y se ve muy bien la conclusión última a la que tiende y que insinúa Galileo: todas esas «causas internas» no son sino «nombres»[213].

La gravedad es algo, no hay duda. E incluso algo muy importante. Sin embargo, esta propiedad, absolutamente fundamental, no constituye la «naturaleza» de los cuerpos, no es su propiedad *esencial*. En efecto, en el famoso y justamente célebre pasaje del *Saggiatore* (textualmente reproducido, además, en la *Carta a la Gran Duquesa de Toscana)*[214], pasaje en el cual resume Galileo los fundamentos de su filosofía de la naturaleza, *no se habla de la pesantez*. En este texto, que recuerda extrañamente —y significativamente— textos análogos de Descartes, Galileo nos explica que: «Desde que concibo una materia o una sustancia corporal, me siento empujado por la necesidad de concebir al propio tiempo que está terminada y figurada por tal o cual figura, que en comparación con otras es grande o pequeña, que se encuentra en tal o cual lugar y tiempo, que se mueve o permanece inmóvil, que toca o no a otro cuerpo, que se encuentra en gran número o en número reducido; y por mucho que es-

[213] La pesantez es sólo un «nombre», nos dice Galileo. Lo que significa que se conforma con el nominalismo positivista porque ignora la *naturaleza* de la pesantez (como ignora la de la luz). Pero, tanto en un caso como en otro, si Galileo se conforma con esta ignorancia es sólo porque no tiene otra salida. En realidad, sabe bien que la pesantez es una fuerza de la misma naturaleza que la atracción magnética. Por eso se proclama abiertamente partidario de la filosofía magnética de Gilbert (*Dialogo*, III, pp. 431 siguientes, 429 ss.); cree, como él, que la tierra es un gran imán. Pero no sabe qué es la fuerza magnética, y sus propias investigaciones, consignadas en los *Discorsi e dimostrazioni*, no le permiten fundamentar una verdadera teoría, es decir, una doctrina matemática del magnetismo. En cuanto a la teoría del propio Gilbert, es animista. E incluso la de Kepler (véanse *supra*, pp. 174 ss.).

[214] Cf. *Il saggiatore*, *Opere*, vol. VI, pp. 341 ss.: «*Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella é terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'ella in relazione ad altre é grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poca o molta, nè per veruna imaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata: anzi, se i sensi non ci fussero scorta, forse il discorso o l'immaginazione per sè stessa non v'arriverebbe giammai. Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc. per la parte del suggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altri che puri nomi, ma tengono solamente lor residenza nel corpo sensitivo, siche rimosso l'animale, sieno levate e annichilate tutte queste qualità.*» Cf. *Ibid.*, p. 350: «*Molte affezzioni che sono reputate qualità risedenti ne'soggetti esterni, non ànno veramente altra esistenza che in noi, et fuor di noi non sono altro che nomi.*»

fuerce mi imaginación no la puedo separar de esas condiciones. Pero que deba ser blanca o roja, amarga o dulce, sonora o muda, de olor agradable o desagradable, no siento que mi mente esté obligada a concebirla como necesariamente acompañada de esas propiedades. Así pues, si los sentidos no se vieran afectados, es posible que ni la imaginación ni la razón hubieran llegado jamás a ello. Por esto he llegado a pensar que esos sabores, olores, colores, etc., no son nada en el objeto...[215], no son sino puros nombres y únicamente tienen su existencia en el cuerpo sensitivo, de modo que si lo animal fuera suprimido, todas esas cualidades quedarían aniquiladas y destruidas».

Está claro: lo que constituye la *esencia* del cuerpo, o de la materia, aquello sin lo cual no puede ser pensado —y, por lo tanto, no puede ser—, son, para Galileo igual que para Descartes —y por las mismas razones—, sus propiedades matemáticas. El número, la figura, el movimiento: la aritmética, la geometría, la cinemática. La gravedad no se encuentra allí incluida.

Tampoco se la encontrará entre las cualidades puramente sensibles, tales como el color, el olor, el calor o el sonido, que Galileo declara puramente subjetivas y dependientes, en su misma existencia, de la de lo animal.

Entonces, ¿dónde se encuentra? En ninguna parte. O bien en alguna parte entre la nada y el ser; la gravedad ocupa un lugar intermedio entre la nada de las apariencias sensibles y el ser de lo real matemático. O, si se prefiere, un lugar de intermediario. Por eso no tiene sino una existencia de hecho.

Por otra parte, ¿cómo negar su existencia? Los cuerpos caen... los cuerpos *físicos*, claro está: los cuerpos geométricos no «caen» en modo alguno. Es el hecho de que los cuerpos «caigan» lo que quiere decir que espontáneamente se ponen en movimiento, lo que hace de la física una ciencia especial y la distingue de la geometría[216]: los cuerpos son *graves*... Por más que la gravedad no sea una noción clara, matemática, y no designe una cualidad esencial del cuerpo, la *física*, ciencia del movimiento y del reposo, no puede prescindir de ella. ¿Cómo iba a hacerlo? Los cuerpos de la física matemática, los cuerpos galileanos o, para llamarlos por su verdadero nombre, los cuerpos arquimedianos no son otra cosa que «cuerpos» geométricos, euclidianos, dota-

---

[215] En términos modernos: no son nada en el *objeto*, no tienen ninguna realidad *objetiva*, sólo existen en el sujeto que conoce o percibe.

[216] Los cuerpos geométricos —y, cuando tratemos de la dinámica de Descartes, veremos las consecuencias de esto— no tienen, en sí mismos, ninguna propensión *ni al movimiento ni al reposo*. Por eso, Descartes se verá obligado a atribuir a Dios no sólo la creación del movimiento, sino también la del reposo.

dos de gravedad. En otras palabras, la gravedad es la única propiedad «física» que poseen.

Los cuerpos «físicos» arquimedianos son, pues, graves, en cierto modo por definición[217]. Y esta es la razón por la que son «móviles», mientras que los cuerpos geométricos no lo son en absoluto[218]. Por eso caen y tienen una tendencia natural a moverse hacia abajo, cosa que no hacen los cuerpos geométricos.

Por consiguiente, la gravedad aparece ligada al movimiento; o, si se prefiere, el movimiento —sin el cual no hay física— aparece ligado al hecho de la gravedad. Y es este arquimedismo profundo del pensamiento galileano —arquimedismo en el que ya hemos insistido— el que, junto con su realismo[219], explica, más aún que la inconsciente influencia de la experiencia, la imposibilidad en que se halla Galileo de formular correctamente el principio de inercia.

A pesar de todo, la gravedad continúa siendo en la física galileana una fuente de movimiento. Ya dijimos que incluso es la única fuente de movimiento que admite. En efecto, el choque no hace sino transferir de un móvil a otro un movimiento (una velocidad) ya existente: la caída, por el contrario, lo produce. Por eso, para crear movimiento y también para conferir velocidad a un cuerpo es preciso, de acuerdo con la física galileana, dejarlo caer desde «arriba» hacia «abajo»[220].

La gravedad es una fuente de movimiento: ésta es una proposición fácil de admitir. Es sensata. Es, incluso, de sentido común. También es una proposición de la física aristotélica. Pero, evidentemente, la física aristotélica no puede admitir que sea la única: sería admitir, al propio tiempo, la unidad de la materia, sería abandonar la división del Cosmos en dos regiones, la celeste y la sublunar, y reconocer que las mismas leyes y que la misma física son válidas tanto en la tierra como en los cielos.

Pues bien, esa es precisamente la tesis de Galileo. Y el curioso mito cosmogónico que encontramos al comienzo mismo del

---

[217] Es lo que sostendrá abiertamente Torricelli. Cf. *Opera geometrica*, Florentiae, 1642, pp. 8 ss.; citado *infra*, pp. 287 ss.

[218] Un «cuerpo» puramente matemático, privado de pesantez, no puede moverse. Cf. *infra*, pp. 262 ss.

[219] Galileo no trata de construir un mundo abstracto, sino de captar la esencia matemática del mundo real, móvil y, por consiguiente, *temporal*. Cf. *supra*, p. 147.

[220] *Dialogo*, I, p. 53: «Salv. *Il moto per la linea orizontale, che non è declive nè elevata, è motto circulare intorno al centro: adunque il moto circolare non s'acquisterà mai naturalmente senza il moto retto precedente, ma bene, acquistato che e' si sia, si continuèrà egli perpetuamente con velocità uniforme.*»

Dialogo (y que, para indicar una vez más sus preferencias filosóficas, atribuye a Platón, aunque Platón nunca enseñara nada parecido), mito en el que vemos cómo Dios deja caer los planetas antes de conferirles el movimiento circular en sus respectivas órbitas[221], sin duda sólo nos es presentado para hacernos ver palpablemente esa oposición entre aristotelismo y galileísmo, entre ciencia antigua y ciencia clásica, y hacernos comprender el alcance filosófico de los principios esenciales de la física clásica, y en especial el de la uniformidad de las leyes.

Se podría decir que el pensamiento de Galileo recorre en sentido inverso la andadura inicial del pensamiento de Copérnico: éste aplicaba a la tierra las leyes establecidas para los cielos[222]; aquél, por el contrario, aplica a los cielos los principios establecidos para la tierra.

El movimiento de la caída ha sido reconocido como el único movimiento natural sobre la tierra. Galileo proclama que lo mismo ocurre en los cielos, que el movimiento circular de los planetas no es en modo alguno «natural», es decir, espontáneo, y que, para producir el movimiento, nadie, ni Dios, podría servirse de medios distintos a aquéllos o, más exactamente, a aquél del que nos servimos en la tierra.

No hay duda de que Galileo es prudente. La omnipotencia divina no se pone en entredicho. Dios podría muy bien crear directamente el movimiento. Pero, en cierto modo, eso sería un milagro más[223]. Ahora bien, el de la pura y simple creación de los cuerpos ya es suficientemente difícil. En buena ciencia no hay por qué cargar al Señor con un segundo milagro, por otra parte perfectamente innecesario. Además, ese movimiento que creara Dios directamente no sería un movimiento natural.

El cambio de la situación con respecto al aristotelismo es completo. Para Aristóteles, el movimiento circular de los planetas, concebido como movimiento espontáneo, probaba la dife-

---

[221] *Dialogo*, I, p. 44: «Podemos decir, razonablemente, que la naturaleza, para conferir a un móvil que inicialmente estaba en reposo, una velocidad determinada, procede haciéndole moverse, durante cierto tiempo y a través de cierto espacio, en línea recta. Una vez admitido esto, podemos imaginarnos a Dios creando, por ejemplo, el cuerpo de Júpiter, al que ha decidido dar una velocidad determinada, la cual, más tarde, debe conservar perpetuamente uniforme: al igual que Platón, podremos decir que primero debería moverse con movimiento rectilíneo y acelerado, y después, al haber adquirido un determinado grado de velocidad, convertir su movimiento rectilíneo en movimiento circular, cuya velocidad debe entonces naturalmente ser uniforme.» Es de destacar que este mito es recogido por Sagredo en los *Discorsi*, IV, p. 283.

[222] Cf. *supra*, pp. 154, 158, 212.

[223] Milagro que pide Descartes a su Dios; y del que Newton dispensa al suyo.

rente naturaleza de la tierra y de los cielos. Por el contrario, concebido como movimiento derivado, demuestra para Galileo que poseen una naturaleza común. En efecto, los caracteres privilegiados del movimiento circular (movimiento alrededor del centro) se explican justamente, por el hecho de la gravedad[224].

El hecho de la gravedad condiciona y explica el hecho del movimiento. El movimiento de la caída es el movimiento natural de todo cuerpo abandonado a sí mismo. Además, el movimiento de la caída, ya en cuanto movimiento (cinemáticamente), posee particularidades completamente excepcionales. No es un movimiento como los demás. No sólo es un movimiento constante y continuamente acelerado, lo que quiere decir que un cuerpo animado por este movimiento adquiere progresivamente todos los grados de velocidad y de lentitud, sin pasar ninguno por alto y sin retardarse en ninguno (lo que le hace sumamente apto para conferir a un cuerpo dado un determinado grado de movimiento, es decir, de velocidad)[225], sino que representa asimismo un tipo bien determinado[226] de movimiento que se realiza de idéntica forma, siempre que un cuerpo cae en caída libre o por un plano inclinado. Más aún, no es sólo el tipo, sino el movimiento mismo, el que se realiza, de idéntica forma, cualquiera que sea el cuerpo que descienda. En efecto, cualquiera que sea el cuerpo que caiga, es decir, cualquiera que sea su peso o su constitución física, siempre cae a la misma velocidad[227].

Cuando se piensa en todo esto, cuando se piensa especialmente en el hecho de que los cuerpos, sean cuales fueren, caen todos según la misma ley y a la misma velocidad, se comprende la ten-

---

[224] Todavía para Bruno, los planetas giraban porque no *pesaban*. Cf. *supra*, pp. 164 ss.

[225] *Dialogo*, I, p. 45, al margen: *Tra le quiete e qualsisia grado di velocità mediano infiniti gradi di velocità minori.*

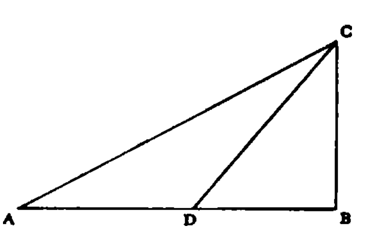
[226] *Dialogo*, I, p. 46; II, p. 248; *Discorsi*, III, pp. 198 ss. Cf. *supra*, pp. 77-78.

[227] Cf. *Dialogo*, II, p. 249: «Salviati: *Palle di una, di dieci, di cento, di mille libbre, tutte misureranno le medesime cento braccia nel medesimo tempo.*» Cf. *Discorsi*, pp. 128 ss. Los historiadores de Galileo, y de la física, confunden habitualmente dos proposiciones bien diferentes: 1) aquélla que se supone que Galileo estableció en Pisa, mediante experimentos que nunca hizo —y que no tenía necesidad de hacer— (cf. L. Cooper, *Aristotle, Galileo and the tower of Pisa*, Ithaca, 1935, y nuestro artículo «Galilée et l'expérience de Pise», en *Annales de l'Université de Paris*, 1937) y que, en realidad, ya había sido establecida por Benedetti (cf. *supra*, pp. 49-50, 59), según la cual los cuerpos *de la misma naturaleza* caen a la misma velocidad, y 2) aquélla cuya demostración nos dan por primera vez los *Discorsi*, según la cual todos los cuerpos, *sea cual fuere su naturaleza*, caen a igual velocidad.

tativa de Galileo de desarrollar su dinámica como una dinámica de la caída. Y también se comprende el orgullo de la declaración galileana al anunciar, por boca de Salviati, que todo el mundo ha observado que el movimiento de los graves, al descender a partir del reposo, no es uniforme sino continuamente acelerado, pero que ese conocimiento generalizado es inútil si no se sabe la proporción según la cual se realiza ese incremento de velocidad; y sobre todo si no se sabe que se realiza según la proporción de los números impares *ab unitate*, es decir, que la proporción de los espacios recorridos es igual a la del cuadrado de los tiempos [228].

Decubrir las leyes matemáticas del movimiento; descubrir que el movimiento de la caída *sigue la ley del número:* en verdad, había motivos para estar orgulloso.

La dinámica de Galileo se basa por entero en el «postulado» de «que los grados de velocidad adquiridos por el mismo móvil en planos de diferente inclinación son iguales cuando lo son las alturas de los planos» [229], y el comentario de Salviati, añade [230]: «El autor llama *altura de un plano inclinado* a la perpendicular que baja del extremo superior del plano a la horizontal trazada por el extremo inferior. Si, por ejemplo, la línea AB es paralela al horizonte y si, sobre ella, están inclinados los planos CA y CD, el autor da a la perpendicular CB, que cae sobre la horizontal BA, el nombre de *altura* de los planos CA y CD y supone que si el mismo móvil desciende por los planos inclinados CA y CD, los grados de velocidad adquiridos por el móvil en los extremos A y D son iguales, porque la altura de los planos es la misma, es decir, CB. Y hay que entender también que el mismo móvil, al caer desde el punto C, tendría en B el mismo grado de velocidad».



El «postulado» de Galileo no hace uso de nociones dinámicas, como tampoco lo hace la conocidísima definición del mo-

[228] Cf. *Dialogo*, II, p. 248. Y la demostración de esto, añade Salviati, como la de muchas otras cosas concernientes al movimiento, es puramente matemática. Cf. *Discorsi*, III, p. 190.

[229] Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, *Opere*, vol. VIII, p. 205. Observemos que lo mismo ocurre con Torricelli. Pero el postulado galileano se transforma para Torricelli en axioma. Cf. Torricelli, *Opera geometrica*, p. 98.

[230] *Discorsi*, III, p. 205.

vimiento uniformemente acelerado[231]. Y mejor aún que esa definición o, más exactamente, mejor aún que los razonamientos que la introducen, nos muestra hasta qué punto el pensamiento galileano está dominado por el hecho de la gravedad, por la concepción del movimiento natural hacia abajo de los cuerpos. En efecto, el postulado galileano no menciona ninguna causa, ninguna fuerza; no sólo evita el nombre de «gravedad», sino, incluso, el de «grave» y admite, como evidente, que todo móvil colocado sobre un plano inclinado desciende por él aumentando de velocidad.

A nosotros el postulado galileano no nos parece de ningún modo evidente. Y no se nos ocurriría ponerlo al comienzo de un tratado de mecánica. Sin embargo, Galileo lo hace, y Sagredo estima[232] «que tal hipótesis tiene tantas probabilidades que merece ser aceptada sin discusión, dando siempre por supuesto que quedan descartados todos los impedimentos accidentales y externos, que los planos son bien sólidos y están bien pulidos, y que el móvil es perfectamente redondo, de manera que ni el plano ni el móvil presenten rugosidades. Al quedar descartados todos esos impedimentos y todos esos obstáculos, mis luces naturales me muestran sin dificultad que una bola pesada y perfectamente redonda que descienda por las líneas CA, CD y CB llegará a los extremos A, B y D con *impetus* iguales».

---

[231] Cf. *supra*, p. 135.

[232] Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205. En el *Dialogo*, a Sagredo le cuesta un poco comprender el significado del postulado galileano. Sin embargo, tras haberlo comprendido, lo admite de inmediato. Cf. *Dialogo*, I, página 47: «Salviati: Razonáis perfectamente. Y puesto que sé que no dudáis en admitir que la adquisición del *impetus* se hace mediante el alejamiento del término de donde parte el móvil, y el acercamiento al centro a donde tiende su movimiento, ¿os resultaría difícil admitir que dos móviles iguales, cuando desciendan por líneas diferentes, sin impedimento alguno, adquirirán *impetus* iguales, siempre que los acercamientos al centro sean iguales?» «Sagredo: No comprendo bien la pregunta.» «Salviati: Me explicaré mejor dibujando una figura. Trazaré, pues, una línea AB paralela al horizonte, y por el punto B levantaré la vertical BC a la cual uniré la línea inclinada CA. Está claro que la línea CA es un plano inclinado, perfectamente duro y pulido, por el cual desciende una bola perfectamente redonda y de una materia extremadamente dura, y una bola semejante desciende libremente por la vertical CB; pregunto, pues, si admitís que el *impetus* de la bola que desciende por el plano CA hasta el término A podría ser igual al *impetus* adquirido por la otra en el punto B cuando desciende por la vertical CB.» «Sagredo: Creo resueltamente que sí; puesto que, en realidad, las dos se han acercado al centro en la misma medida y que, como ya he admitido, sus *impetus* serán igualmente suficientes para reconducir a ambos a la misma altura.»

Tiene mucha razón Sagredo al insistir en la necesidad de descartar todos los «impedimentos externos»: en efecto, las leyes de la física galileana son leyes «abstractas» que no valen como tales para los cuerpos reales. No hay duda de que se refieren a una realidad, pero esa realidad no es la de la experiencia cotidiana; es una realidad ideal y abstracta. Nosotros no necesitamos que se nos lo recuerde; estamos muy acostumbrados a esa abstracción. Más bien necesitamos lo contrario: que se nos recuerde que el mundo ideal y abstracto de la física matemática no es, propiamente hablando, el mundo real [233]. Pero, aun para ese mundo, el postulado galileano no nos parece en modo alguno evidente; para nosotros no está dotado de una evidencia inmediata. Nuestras «luces naturales» lo aclaran bastante mal. Lo que ocurre es que no nos hemos formado con Benedetti. Ni con Arquímedes. Hace ya mucho tiempo que no somos arquimedianos.

Volvamos ahora al estudio del movimiento. Acabamos de ver que la velocidad se adquiere en el descenso y por él. ¿Pero cómo se pierde? En el mundo arquimediano de la física de Galileo, ese mundo donde de antemano quedan «descartados» todos los impedimentos externos al movimiento, la velocidad sólo se pierde subiendo. Pues el postulado galileano implica que la traslación pura y simple, la traslación horizontal, se efectúa sin gasto de energía: cualquiera que sea la distancia recorida por el grave, esa distancia es irrelevante; el *impetus* o momento adquirido es el mismo [234]. Está claro que, a la inversa, cualquiera que sea la distancia recorrida, la energía gastada para elevar a un grave a determinada altura siempre será la misma. Y que esa energía será exactamente igual a la que el grave adquiere al descender de dicha altura. En otras palabras, que el grave que desciende adquiere un *impetus* o momento que basta, precisamente, para hacerle subir de nuevo la pendiente [235].

Esas son consecuencias necesarias de la concepción galileana del movimiento. Por eso, Galileo no hace al principio grandes esfuerzos para demostrarlas. En realidad se limita a decirnos

---

[233] Estamos tan acostumbrados a hipostasiar, como realidad, los resultados —o las condiciones— de nuestras operaciones de cálculo que, o bien admitimos ingenuamente que los límites de nuestras posibilidades de determinación son propiedades de lo real (y así, por ejemplo, admitimos ingenuamente la identidad de los componentes últimos de la materia, moléculas, átomos, electrones), o bien hacemos de ellos un «postulado». La reciente historia de la física ofrece ejemplos tan patentes de esta tendencia de nuestra mente que creemos inútil insistir.

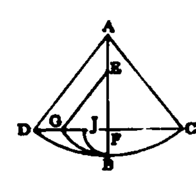
[234] Cf. *Dialogo*, I, pp. 46, 47; *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205.

[235] Cf. *Dialogo*, I, p. 47, citado *supra*, p. 238. *Discorsi e demostrazioni*, III, p. 202.

que si imaginamos una esfera perfecta que desciende a lo largo de un plano inclinado y sube a lo largo de otro plano, y quitamos todos los obstáculos que estorban «al experimento (en especial la pérdida del *impetus* en el ángulo formado por los dos planos) parece ser... que la mente continúa concibiendo que el *impetus* (el cual, en efecto, encierra la fuerza de toda la caída) sería capaz de hacer subir al móvil a la misma altura» [236]. Dicho de otro modo: para Galileo la proposición es evidente. Sin duda nos propone que no tomemos esta afirmación, cuya verdad absoluta se establecerá más tarde, sino como un «postulado». Sabemos bien que esto es sólo una forma de hablar. Es cierto que Galileo nos lo aclara previamente con el «experimento» infinitamente ingenioso del péndulo que, cayendo desde el mismo punto, sube siempre a la misma altura, es decir, al mismo plano horizontal sea cual fuere el arco de la subida [237]. El procedimien-

[236] Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, pp. 218, 244.

[237] Cf. *Discorsi*, III, p. 206; cf. E. Jouguet, *Lectures de mécanique*, volumen I, p. 98: «Imaginaos que esta hoja es un muro vertical y que hay un clavo en él del cual está suspendida una bola de plomo, de una o dos onzas, por un hilo AB de dos o tres codos de largo y perpendicular al horizonte. Tracemos en el muro una horizontal CD que corta a escuadra el hilo AB, el cual está a una distancia de unos dos dedos del muro. Desviemos el hilo AB y la bola a la posición AC y soltemos la bola. Veremos cómo ésta desciende describiendo el arco CB y rebasa el extremo B de tal modo que asciende siguiendo BD, más o menos hasta la línea trazada CD; le faltará, no obstante, un pequeño intervalo para llegar a ella, circunstancia debida precisamente a la resistencia del aire y del hilo. De esto podemos concluir, en verdad, que el *impetus* adquirido por la bola en el punto B, en su descenso a lo largo del arco CB, es tal que basta con hacerla remontar un arco idéntico BD, hasta la misma altura. Hecho y rehecho este experimento, clavemos en el muro sobre la vertical AB, en E por ejemplo, o en F, un clavo que sobresalga cinco o seis dedos; al girar como antes el hilo AC, la bola describirá el arco CB; cuando llegue a B, el hilo tropezará con el clavo E y la bola se verá obligada a recorrer la circunferencia BG descrita desde E como centro. Veremos entonces lo que podrá producir el mismo *impetus* que, adquirido en el extremo B, puede hacer que el móvil suba, siguiendo el arco BD, hasta la altura de la horizontal CD. Pues bien..., veréis con placer cómo la bola alcanza la horizontal en el punto G; lo mismo ocurrirá si el clavo está clavado más abajo, en F, por ejemplo, en cuyo caso la bola describiría el arco BJ y terminaría siempre su subida en la línea CD, y si el clavo estuviera demasiado bajo para que la longitud del hilo permita a la bola alcanzar la altura CD (lo que ocurriría si el clavo estuviera más cerca de B que de CD) el hilo se enrollaría alrededor del clavo. Este experimento no permite dudar de la verdad del principio supuesto. Al ser iguales y estar similarmente colocados los dos arcos CB y BD, el momento adquirido en la bajada por CB es el mismo que el que sería adquirido siguiendo DB; pero el momento adquirido en B siguiendo CB es capaz de hacer que el mismo móvil suba



lo rebosa ingenio. No obstante —y Galileo no nos lo oculta— todavía no es más que un experimento mental. Y, añadiremos, para ser concluyente, el razonamiento galileano presupone justamente el postulado que trata de demostrar.

Entendámonos: no censuramos en modo alguno a Galileo. La finalidad de nuestro estudio no es la de descubrir las faltas formales de los razonamientos galileanos, sino la de descubrir la infraestructura real de su pensamiento y, en especial, la de dar a conocer el papel que en él desempeñan el hecho y la noción de la pesantez. A decir verdad, habríamos podido hacer más fácil nuestra tarea. Para apreciar ese papel, y para ver el valor dinámico de la gravedad, habríamos podido limitarnos a citar la demostración, dada por Galileo, de su primer «postulado».

Este postulado, más tarde transformado en teorema[238], hace depender la velocidad del cuerpo que desciende de la altura de su caída, cualquiera que sea la distancia recorrida. Ahora bien, la ley de la caída de los graves, establecida entre tanto por Galileo, hace depender esa velocidad del tiempo transcurrido, es decir, de la duración del descenso, la cual, como es evidente, no puede ser la misma en la vertical (en caída libre) que en el plano inclinado. Galileo va, pues, a mostrarnos que la ley de la caída —que Galileo admite como válida para el descenso del grave por el plano inclinado—[239] conduce justamente al teorema en cuestión. «Ha quedado establecido —nos dice por boca de Salviati—[240] que en cualquier plano inclinado la velocidad o la cantidad de *impetus* de un móvil que parte del reposo crece como el tiempo (ésta es la definición dada por nuestro autor al movimiento naturalmente acelerado); entonces, como ya se ha dicho en la proposición precedente, los espacios recorridos están en razón doble de los tiempos y, por consiguiente, de los grados de velocidad; tales fueron los *impetus* en el primer movimiento, tales serán proporcionalmente los grados de velocidad adquiridos en el mismo tiempo, puesto que unos y otros crecen siguiendo la misma proporción del tiempo.» Ahora bien, como

---

siguiendo BD; por tanto, el momento adquirido siguiendo DB es igual al que haría que el mismo móvil subiera a lo largo del mismo arco de D a B, de modo que, en general, el momento adquirido en la caída siguiendo un arco cualquiera es igual al que puede hacer rebotar al mismo móvil a lo largo del mismo arco. Pero todos los momentos que hacen rebotar al móvil a lo largo de todos los arcos BD, BG, BJ son iguales, puesto que están hechos con el momento adquirido en el descenso CB, como lo muestra el experimento. Luego todos los momentos adquiridos al descender siguiendo los arcos DB, GB, JB son iguales.»

[238] Cf. *Discorsi*, III, p. 215.

[239] Cf. *Discorsi*, III, p. 218. Cf. *Dialogo*, I, p. 48.

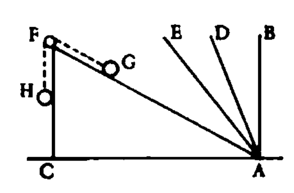
[240] Cf. *Discorsi*, III, p. 216.

la velocidad del móvil depende del *impetus* o «momento» inicial y estos *impetus* o «momentos» varían con la inclinación del plano, se deduce que el móvil que desciende por un plano inclinado, aunque va menos deprisa se mueve durante más tiempo y llega a la parte inferior de su recorrido a la misma velocidad final que si cayera en caída libre.

Así pues, la prueba del postulado galileano, el acoplamiento entre el espacio y el tiempo, se hace mediante nociones dinámicas; la velocidad del grave que desciende va unida, expresamente, a la magnitud del *impetus* inicial.

¿Es que hemos regresado a la física del *impetus*? ¿O es que, como pensaba Duhem[241], nunca hemos salido de ella? Pregunta seria que hay que examinar más de cerca. ¿Qué es en realidad el *impetus* galileano?[242].

«Consideremos en primer lugar —nos dice Galileo—[243] como hecho muy conocido que los momentos o velocidades de un mismo móvil son distintos en planos diferentemente inclinados; que el máximo tiene lugar en la línea vertical; que en las líneas inclinadas la velocidad disminuye a medida que la línea se aleja de la vertical, es decir, se inclina más oblicuamente y que, por consiguiente, el *impetus*, el *talento*, la energía —nosotros diremos el *momento* de descenso— es atenuado en el móvil por el plano en el que se apoya y por el que desciende.



»Para darnos mejor cuenta de esto, admitamos que la línea AB es vertical. A continuación, inclinémosla de distintas maneras hacia el horizonte como en AD, AE, AF, etc. Afirmo que el *impetus máximo* y total del grave para descender tiene lugar en la vertical BA, que es menor en DA, menor todavía en EA, que disminuye aún más cuando se pasa a la línea más inclinada FA, y que, finalmente, queda reducido a nada en la horizontal CA, donde el móvil resulta indiferente al movimiento y al reposo y no presenta de por sí ninguna tendencia a moverse hacia lado alguno, ni ninguna resistencia a ser puesto en movimiento. En efecto, así como es imposible que un grave o un conjunto de graves se mueva naturalmente hacia arriba alejándose del centro común a donde tienden las cosas pesadas, así también es imposible que se mueva espontáneamente si, en su movimiento, su

[241] Cf. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, p. 567.
[242] Cf. *supra*, pp. 91 ss. y 226 ss.
[243] *Discorsi*, III, p. 215.

centro de gravedad no se acerca al centro común; por lo tanto, el *impetus* o el movimiento del móvil será nulo en la horizontal que se extiende por una superficie igualmente distante de dicho centro y que carece de inclinación.»

Así pues, el *impetus* del móvil no es otra cosa sino el impulso dinámico que le confiere su gravedad; no es ya, en modo alguno, la causa interna que produce el movimiento de la física parisiense. Es lo mismo que su momento, o sea, el producto de su peso por su velocidad. En el móvil llegado al término de su descenso, es la energía total o el *impetus* total; en el móvil que comienza su movimiento, es el producto de su peso por la velocidad inicial, en otras palabras, la diferencial de velocidad. Finalmente, para el móvil en reposo, el *impetus* no es sino la velocidad virtual [244].

El *impetus* o movimiento inicial, el impulso o diferencial de velocidad, varía según la inclinación del plano en el cual se encuentra el grave. Y para medirlo, para medir al mismo tiempo su variación, no hay más que pensar en el hecho de que, manifiestamente, el *impetus* del descenso de un grave es tan grande como la resistencia o la fuerza mínima que resulta suficiente para impedirlo o detenerlo; ahora bien [245], «para medir esta fuerza, esta resistencia, me serviré de la gravedad de otro móvil. Imaginemos que sobre el plano FA reposa el móvil G atado a un hilo que pasa por F y sostiene un peso H, y consideremos que la caída de H, o su elevación por la vertical es siempre igual a toda la elevación o a toda la caída de G a lo largo del plano inclinado AF, mas no a la elevación o a la caída vertical, la única en la que, como es evidente, el móvil G (o cualquier otro móvil) ejerce su resistencia. En el triángulo AFC, por ejemplo, el movimiento hacia arriba del móvil G, de A a F, está compuesto por el movimiento transversal y horizontal AC, y el movimiento vertical CF; ahora bien, por lo que respecta al desplazamiento horizontal, la resistencia al movimiento es nula, como se ha dicho, porque ese desplazamiento no produce ninguna disminución ni aumento de la distancia al centro de las cosas graves, distancia que en una horizontal es siempre la misma; por consiguiente, resulta que la resistencia es debida únicamente al hecho de que el móvil debe escalar la vertical CF. Puesto que el móvil G, al moverse de A a F, resiste sólo a causa de la elevación vertical CF, mientras que el otro grave H desciende siguiendo la vertical de toda la longitud FA, y puesto que la relación entre el ascenso y el descenso es siempre la misma, sea grande o pequeño el movi-

---

[244] Cf. *Discorsi*, III, p. 216.
[245] Cf. *Discorsi*, III, pp. 216 ss.

miento de los móviles (en efecto, están unidos), podemos afirmar que cuando haya equilibrio, es decir, reposo de los móviles, los momentos, las velocidades o su tendencia al movimiento, es decir los espacios que recorrerían en el mismo tiempo, deberán estar en razón inversa de sus gravedades, conforme a la ley que se demuestra en todos los casos de los movimientos mecánicos[246]. Por consiguiente, será suficiente para impedir la caída de G que H sea tanto menos pesado con relación a él cuanto menor es el espacio CF con relación al espacio FA. Luego siendo los graves G y H entre sí como FA a FC, se deduce que habrá equilibrio, o sea que los graves H y G tendrán momentos iguales y su movimiento cesará. Y puesto que hemos convenido que para un móvil el *impetus* (la energía, el momento o la propensión al movimiento) es igual a la magnitud de la fuerza o resistencia mínima que basta para mantenerlo fijo, concluiremos que el grave H basta para impedir el movimiento del grave G; por consiguiente, el peso menor, H, que ejerce su momento total en la vertical FC será la medida precisa del movimiento parcial que el peso mayor, G, ejerce en el plano inclinado FA; pero la medida del momento total del propio grave es él mismo (ya que para impedir la caída vertical de un grave es necesaria la acción contraria de un grave igual que, sin embargo, esté libre de moverse verticalmente). Luego el *impetus* o momento parcial de G en el plano inclinado FA es al *impetus* máximo y total del mismo G en la vertical FC como el peso H es al peso G, es decir, por construcción, como la altura FC del plano es a la longitud del plano FA».

El razonamiento galileano, que hace del *impetus* una magnitud y —acoplando de este modo la dinámica a la estática—[247] mide el *impetus* por la resistencia, es decir, en último término, por el *peso* que contrarresta el impulso al movimiento[248], es una transposición del razonamiento arquimediano. La *gravitas secundum situm* se convierte en un *impetus secundum situm*, y la estática se transforma en dinámica porque la misma gravedad es interpretada dinámicamente por Galileo.

Mas, si esto es así, si la dinámica de Galileo es en el fondo arquimediana y se basa enteramente en la noción de la pesantez, de ello se deduce que Galileo no podía formular el principio de inercia. Por eso, no lo formuló nunca.

---

[246] Cf. *Le mecaniche, Opere*, vol. II, pp. 156, 164, 168, 170, 185.

[247] Cf. E. Jouguet, *Lectures de mécanique*, vol. I, p. 106, n. 119; páginas 111 ss.

[248] Por eso estima que la «inercia» kepleriana es completamente superflua.

En efecto, para poderlo hacer, es decir, para poder afirmar la persistencia eterna no del movimiento en general sino del movimiento *en línea recta*, para poder imaginar que un cuerpo, abandonado a sí mismo y *privado de todo soporte*, permanece en reposo o continúa moviéndose *en línea recta* y no *en línea curva*[249], habría sido necesario que Galileo hubiera sido capaz de concebir el movimiento de la caída como un movimiento no natural sino, por el contrario, «adventicio» y «violento», o sea, causado por una fuerza externa. Lo que significa que habría sido necesario que, llevando hasta el fin el matematismo de su filosofía de la naturaleza, Galileo hubiera llegado a excluir la gravedad no sólo de la constitución esencial del cuerpo, sino incluso de su constitución «efectiva». En otros términos, habría sido necesario que hubiese podido reducir el ser efectivo del cuerpo a sus determinaciones esenciales. Y esto, a su vez, quiere decir: habría sido necesario que al dejar de ser arquimediano se hubiera vuelto cartesiano.

Algunas veces se ha dicho, y nosotros también lo hemos dicho, que para Galileo el camino hacia el principio de inercia estaba obstruido por la experiencia astronómica del movimiento circular de los planetas[250], movimiento inexplicable y, por lo tanto, eminentemente «natural». Esto nos parece indiscutible. Por otra parte, ese no era el único obstáculo que la astronomía, o más exactamente la consideración del Universo astral, oponía al descubrimiento del principio de inercia: la creencia en la finitud de este Universo levantaba una barrera infranqueable ante el pensamiento galileano. Esa barrera habría bastado para determinar su fracaso. Pero, además, la física celeste resultaba estar totalmente de acuerdo con la física terrestre: pues ésta, enteramente basada en la concepción dinámica de la gravedad, fuente del movimiento y propiedad constitutiva e inadmisible de sus cuerpos, no podía aceptar el carácter privilegiado del movimiento rectilíneo[251].

---

[249] Para los predecesores de Galileo, el movimiento en *línea recta* del proyectil era evidente: la trayectoria sólo se curvaba hacia el final del movimiento. Para Galileo, se curva desde el comienzo del movimiento: por eso el movimiento del proyectil en línea recta resulta, para él, *rigurosamente imposible*.

[250] Cf. E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, vol. XV, pp. 129 ss., 346 ss.; cf. *supra*, página 151.

[251] Cf. *Dialogo*, II, p. 62, donde el movimiento circular es presentado como «natural» para todos los cuerpos y no sólo para los cuerpos celestes; y II, p. 193, donde Galileo nos dice que el movimiento rectilíneo no existe en este mundo.

Acabamos de ver que la imposibilidad en que se halla Galileo de formular el principio de la inercia se explica, por una parte, por su negativa a renunciar del todo a la idea de Cosmos, es decir, a la idea de un mundo bien ordenado[252], y a admitir francamente la infinitud del espacio; y, por otra parte, por su incapacidad de concebir el cuerpo físico (o el cuerpo de la física) como un cuerpo privado del carácter constitutivo de la gravedad.

¿Por qué se niega Galileo a admitir la infinitud del espacio? A esta pregunta nos es imposible responder. Nos vemos obligados a contentarnos con el hecho: el Universo galileano es un Universo finito[253]. Es posible —pero no es nada más que una hipótesis— que se asustara ante el ejemplo de Bruno. Queremos decir: ante el ejemplo de las consecuencias que la doctrina de la infinitud trajo para Bruno[254].

¿Y por qué no es capaz de hacer abstracción de la gravedad? Simplemente, porque no sabe lo que es. Galileo puede abstraerse de toda teoría de la pesantez, pero no de la gravedad, dato inmediato de la experiencia y del sentido común. Galileo no puede explicarla, como tampoco lo podía su maestro Arquímedes. Y no tiene suposiciones que hacer.

No hay duda de que podría objetársenos que nuestra explicación, válida para Arquímedes, no lo es en lo concerniente a Galileo. Arquímedes, a falta de toda teoría física de la gravedad, se veía obligado a aceptarla como un hecho. Pero lo que es válido para su época no lo es ya para la de Galileo. Existe una teoría física de la gravedad. Es la de Gilbert que, modificándola, adopta Kepler. ¿Por qué, pues, Galileo, que admira a Gilbert casi tanto como a Copérnico[255], que está persuadido, y lo pro-

---

[252] Cf. *Dialogo*, I, pp. 42 ss., citado *supra*, p. 197, n. 105.

[253] Véase el texto citado *supra*, p. 199, n. 111, y *Dialogo*, III, pp. 324, 375, 388. Cf. *Carta a Ingoli*, *Opere*, vol. VI, pp. 518 ss., 524 ss.

[254] Ya hemos dicho anteriormente (*supra*, p. 204, n. 125) que Galileo, quien sin duda alguna conocía la obra de Bruno, no lo nombra *nunca*; cuando Kepler le envía una interpretación bruniana de los descubrimientos del *Nuntio sidereo*, Galileo *no responde*. Se siente: el nombre de Bruno es tabú. Cf. *Dissertatio cum nuntio sidereo*, *Opere*, vol. III, 1, pp. 105 ss.

[255] Cf. *Dialogo*, III, pp. 432 ss.: «Salv.: *Io sommamento laudo ammiro ed invidio questo autore, per essergli caduto in mente concetto tanto stupendo circa a cosa maneggiata da infiniti ingegni sublimi, nè da alcuno avvertita; parmi anco degno di grandissima laude per le molte nuove e vere osservazioni fatte da lui, in vergogna di tanti autori mendaci i vani, che scrivono non sol quel che sanno, ma tutto quello que senton dire dal vulgo sciocco, senza cercare di assicurarsene con esperienza...*» Y, un poco más lejos, después de haber hecho a Gilbert ciertas críticas, continúa Galileo: «*Nè percio deve diminuirsi la gloria del primo osservatore; nè io stimo meno, anzi ammiro più assai, il primo inventor della lira... che cent'altri artisti che ne i conseguenti secoli tal professione ridussero a grand'esquisi-*

clama por boca de Sagredo[256], de que Gilbert tiene razón y de que la tierra es un gran imán, no adopta esa teoría? La respuesta nos parece evidente: por más que admire a Gilbert, por más que acepte su doctrina sobre la naturaleza magnética de la gravedad, no puede utilizarla porque no es ni matemática ni siquiera matematizable[257]. La atracción gilbertiana es una fuerza *animada*[258]. La atracción kepleriana sin duda no lo es; o ha dejado de serlo. Pero de su pasado animista guarda la facultad de poder dirigirse, por sí misma, hacia su objeto. En cierto modo, esa atracción sabe adónde tiene que ir, dónde está el cuerpo al que hay que atraer[259]. Misteriosa facultad que las propias investigaciones de Galileo sobre el imán no logran aclarar, y matematizar, y que sigue siendo inutilizable para la física.

Por eso, en tres ocasiones se aproxima Galileo al principio de inercia hasta, diríamos, rozarlo; y cada vez, a última hora, se echa para atrás. Creemos que no hay nada tan instructivo como el análisis de esos tres rechazos.

El principio del movimiento circular corre peligro por pri-

---

tezza»; cf. pp. 493 ss. La simpatía galileana por Gilbert es igualmente alimentada, sin duda, por el resuelto copernicanismo de éste. Cf. G. Gilberti Colchestrensis, *De magnete*, Londini, 1660, l. VI, c. III, p. 220: «Jam vero cum coelum totum, et vastam mundi amplitudinem, in gyrum rotari, absurdius quam dici potest vulgares philosophi imaginentur: relinquitur ut terra diurnam immutationem perficiat. Dies igitur hic qui dicitur naturalis est meridiani alicuius telluris a sole ad solem revolutio. Revolvitur vero integro cursu, a stella aliqua fixa ad illam rursus stellam. Quae natura moventur corpora motu circulari, aequali et constanti, illa in suis partibus varijs instruuntur terminis. Terra vero non Chaos est, nec moles indigesta; sed astrea sua virtute, terminos habet motui circulari inservientes, polos non mathematicos, aequatorem non imaginatione conceptum, meridianos etiam et parallelos; quos omnes permanentes, certos, naturales in terra invenimus: quos tota philosophia magnetica plurimis experimentis ostendit.» Véase también pp. 225, 228.

[256] *Dialogo*, III, p. 431.

[257] *Dialogo*, III, p. 432: «Salv.: *Quello che avrei desiderato nel Gilberti, è che fusso stato un poco maggior matematico, ed in particolare ben fondato, nella geometria.*» Sobre el carácter no matemático de la física gilbertiana, véase el libro ya citado de E. A. Burtt, *The metaphysical foundations of modern physical science*, pp. 68 ss.

[258] Cf. Gilbert, *De magnete*, l. V, c. XII, p. 209: «*Vis magnetica animata est, aut animatam imitatur, quae humanam animam dum organico corpori alligatur, in multis superat.* Admirabilis in plurimis experimentis magnes, et veluti animatus. Atque haec est una ex illis egregia virtus, quam veteres in caelo, in globis et stellis, in sole et luna animam existimabant. Suspiciabantur namque non sine divina et animata natura posse motus tam varios fieri, corpora ingentia certis temporibus torqueri, admirabiles potentias in alia corpora infundi.» Por eso Gilbert cree en las almas de los astros.

[259] La atracción newtoniana no está dirigida hacia un objeto. Es una función del espacio.

mera vez en el momento de la discusión sobre la fuerza centrífuga. Como se recuerda, Tolomeo había basado sobre el particular un argumento contra el movimiento de la tierra que afirmaba que la enorme velocidad de ese movimiento la haría volar en pedazos. Y Salviati, siguiendo el habitual método de Galileo de reforzar los argumentos del adversario, intentará[260] «mostrar con mayor claridad aún cuán cierto es que los cuerpos graves que giran rápidamente alrededor de un centro móvil adquieren un *impetus* mediante el cual se mueven alejándose de ese centro. Atemos al extremo de una cuerda un recipiente lleno de agua y sostengamos el otro extremo fuertemente con la mano; supongamos que el brazo y la cuerda son el semidiámetro, y la articulación del hombro, el centro; hagamos girar rápidamente la jarra de tal forma que describa la circunferencia de un círculo. Pues bien, ya vaya paralelamente al horizonte, o vertical, o inclinada de algún modo, en ningún caso se derramará el agua de la jarra, y, el que la hace girar sentirá en todo tiempo que la cuerda tira de él y se esfuerza por alejarse del hombro; y si en el fondo del recipiente se hiciera un agujero, se vería cómo el agua saldría por allí tanto hacia el cielo como hacia los lados o hacia la tierra. Y si en lugar de agua se metieran piedrecillas, se sentiría cómo la misma fuerza tiraría de la cuerda; en fin, vemos cómo los niños lanzan piedras a gran distancia fijándolas al extremo de un palo al que hacen girar rápidamente: argumentos todos que confirman la verdad de la conclusión, según la cual la rotación confiere al móvil un *impetus* hacia la circunferencia, cuando el movimiento es rápido; luego entonces, si la tierra girara alrededor de sí misma, el movimiento de su superficie, sobre todo hacia el ecuador, al ser incomparablemente más rápido que los movimientos antes citados, debería lanzar todas las cosas al cielo».

Tomado al pie de la letra, el argumento expuesto por Salviati carece de valor (lo que antes de Galileo, nadie, por cierto, había advertido), puesto que confunde la velocidad lineal del punto tomado en la superficie de la tierra con la velocidad angular de la rotación de ésta. Por eso dirá Salviati[261]: «Hasta aquí le hemos admitido y dado por bueno lo que considera Tolomeo como efecto indudable: que, al provenir la proyección de la piedra de la rapidez de la [rotación] de la rueda movida alrededor de su centro, la causa de esa proyección crece en la medida en que la rapidez de esa rotación aumenta; de donde se ha inferido que, siendo la rapidez de rotación de la tierra infinitamente mayor

[260] Cf. *Dialogo*, II, p. 216; cf. *supra*, pp. 154 ss.
[261] *Dialogo*, II, p. 237.

que la de cualquier máquina que podamos hacer girar artificialmente, la proyección (extrusión) de las piedras, de los animales, etcétera, debería, en consecuencia, ser extremadamente violenta. Ahora bien, observo que este razonamiento está muy equivocado, puesto que, indistinta y absolutamente, hemos comparado las velocidades entre sí. Es cierto que si comparo las velocidades de la misma rueda, o de dos ruedas iguales entre sí, la que girare más rápidamente lanzará la piedra con mayor *impetus*, y al crecer la velocidad la causa de la proyección crecerá en la misma proporción; pero si la velocidad se hiciera mayor no por el incremento de la velocidad de la misma rueda, es decir, a causa del mayor número de revoluciones hechas en tiempos iguales, sino a causa del incremento del diámetro de dicha rueda, es decir que se hiciera mayor, mientras que el tiempo de una revolución seguía siendo el mismo, si, entonces, la velocidad en la rueda grande sólo fuera mayor porque su circunferencia es mayor, sería preciso que nadie creyese que la causa del lanzamiento de la rueda grande crecería en la proporción de la velocidad de su circunferencia con la velocidad de la circunferencia de la rueda pequeña, porque esto sería absolutamente falso, como se podrá mostrar por un experimento muy fácil, a saber, que una piedra que puede ser lanzada por una caña de un codo de largo no podrá serlo por una caña de seis pies de largo, aunque el movimiento de la extremidad de la caña larga[262], donde está sujeta la piedra, fuera dos veces más rápido que el de la extremidad de la caña corta; cosa que ocurriría si las velocidades fueran tales que, al dar una revolución la más larga, la más corta diera tres». En efecto, es la velocidad de rotación (la velocidad angular) la única que importa, y, como señala Sagredo[263], «la rotación de la tierra no será ya suficiente para proyectar las piedras, del mismo modo que tampoco lo será la de una rueda pequeña que gire tan lentamente que, en veinticuatro horas, haga sólo una revolución».

Como se ve, el argumento de Tolomeo es totalmente falaz. Lo que no impide que tenga vital importancia. Y que nos revele algo completamente incompatible con las reiteradas aserciones de Galileo. Ciertamente, si —como Galileo nos lo ha afirmado en más de una ocasión— el movimiento en cuanto tal es como nulo e inexistente para las cosas que conjuntamente participan de él, si, en particular, en la tierra dotada del movimiento de rotación todo sucede exactamente de la misma manera que en

[262] Señalamos que el *impetus* es presentado en todas partes como una función de la velocidad.

[263] *Dialogo*, II, p. 244.

la tierra inmóvil, dicho de otro modo, si el principio de la relatividad del movimiento fuera válido universal y absolutamente, y, si, en particular, lo fuera para el movimiento circular «alrededor de un centro», el movimiento de rotación de la tierra, lo mismo que cualquier otro, no podría producir una fuerza centrífuga. La existencia de ésta resulta evidente en la física de Aristóteles, o en la de Tolomeo: para ambos, el movimiento circular (alrededor de un centro) sólo es natural en el caso de los cuerpos celestes, y de las esferas, privadas de gravedad; de ningún modo lo es en el caso de los cuerpos graves. Pues bien, Galileo nos ha hecho ver que eso en manera alguna es así y que justamente es en el caso de los graves en el que el movimiento circular posee un carácter privilegiado. Sin duda, dada la lentitud de la rotación de la tierra, la fuerza centrífuga que produce su movimiento es muy débil; no obstante, por débil que sea, debería producir efectos perceptibles. Además, ¿y si la tierra girara más rápidamente?

Por eso va a esforzarse Galileo en demostrarnos que sea cual fuere la velocidad de rotación de la tierra, no podrían tener lugar los efectos previstos por Tolomeo. Pero su demostración, tan ingeniosa que es una pena que sea falsa, nos va a revelar un hecho de primerísimo orden: a saber, que todo impulso al movimiento se hace *en línea recta* [264] y que el movimiento circular de los graves es sólo la resultante de dos movimientos rectilíneos... [265]. Estamos en el umbral del principio de inercia, umbral que, sin embargo, Galileo se negará a atravesar.

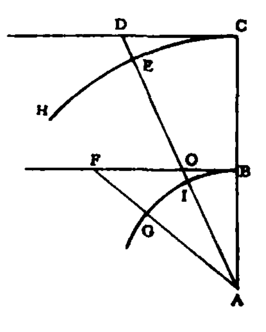
El razonamiento de Tolomeo es falso. No obstante, es plausible. La aserción de Sagredo, según la cual el movimiento extremadamente rápido de la superficie terrestre es tan poco capaz de lanzar una piedra como el movimiento extremadamente lento de la circunferencia de una rueda de un metro de diámetro, es correcta. Pero parece bastante paradójica [266]: las velocidades que animan las piedras ¿no son, en ambos casos, sumamente diferentes? Sin duda. Pero Galileo nos explicará que eso no tiene importancia, y para explicarlo mejor nos hará incluso un dibujo [267]:

«Imaginemos dos ruedas desiguales alrededor de un mismo centro A: BIG es la circunferencia de la menor, y CEH la de la mayor, y finalmente ABC es el semidiámetro perpendicular

---

[264] *Dialogo*, II, p. 201.
[265] *Dialogo*, II, p. 222.
[266] Se lo parece también a Sagredo; cf. *Dialogo*, II, p. 238.
[267] Cf. *Dialogo*, II, p. 242.

al horizonte; por los puntos B, C tracemos las líneas rectas tangentes BF y CD y sobre los arcos BG y CH tomemos dos partes iguales BG y CE; admitamos que las dos ruedas giran a la misma velocidad alrededor de sus centros, de tal forma que dos móviles, por ejemplo dos piedras, situadas en los puntos B y C sean llevadas por las circunferencias BIG y CEH a igual velocidad, es decir, que en el mismo tiempo en que la piedra B describa el arco BG, la piedra C pase el arco CE: afirmo que la rotación de la rueda menor tendrá más potencia para proyectar la piedra B que la que tendrá la rotación de la rueda mayor para proyectar la piedra C. Puesto que (como ya hemos declarado) la proyección debe hacerse por la tangente, cuando las piedras B y C hayan de separarse de su rueda y comenzar el movimiento de la proyección a partir de los puntos B y C, las piedras, merced al *impetus* producido por la rotación, serán proyectadas por las tangentes BF y CD; las dos piedras tienen, pues, los mismos *impetus* de proyección por las tangentes BF y CD; por lo tanto serían proyectadas [según esas tangentes] si no fueran desviadas por alguna otra fuerza. ¿No es así señor Sagredo?» —SAGREDO: «Me parece que las cosas ocurren así». —SALVIATI: «¿Pero cuál parece ser la fuerza que desvía a la piedra de su movimiento por la tangente, donde verdaderamente la lanza el *impetus* de la rotación?». —SAGREDO: «Su propia gravedad o algo que la retiene colocada y unida a la rueda». —SALVIATI: «Pero, para desviar a un móvil del movimiento hacia donde tiene el *impetus*, ¿no es necesaria una fuerza mayor o menor según la desviación haya de ser mayor o menor, es decir, según que en el momento de la desviación el móvil deba atravesar en el mismo tiempo un espacio mayor o menor?». —SAGREDO: «Sí, porque para hacer que se mueva un móvil es preciso que la virtud motriz sea tanto mayor cuanto mayor sea la velocidad a la cual se le tiene que mover». —SALVIATI: «Pues bien, considerad que, para desviar a la piedra de la rueda menor del movimiento de la proyección, movimiento que la piedra haría por la tangente BF, y retenerla unida a la rueda, es preciso que su propia gravedad la desplace a una longitud igual a la de la secante FG, o bien a la de la perpendicular que va del punto G a la línea BF; mientras que en la rueda mayor este desplazamiento no tiene que ser mayor que la secante DE, o que la perpendicular que va del punto E a la tangente DC, sensiblemente menor que FG, y tanto



menor cuanto mayor sea la rueda; y puesto que estos desplazamientos deben hacerse en tiempos iguales, o sea, mientras [los móviles] atraviesan los dos arcos iguales BG y CE, el de la piedra B, es decir el desplazamiento FG, habrá de ser más rápido que el otro, DE, y, por consiguiente, para retener a la piedra B unida a su pequeña rueda se necesitará una fuerza mucho mayor que la precisada [para retener] a la piedra C cerca de la grande: lo que es lo mismo que decir que tal fuerza pequeña que impide la proyección de la rueda grande no podrá impedir la de la rueda pequeña. Está, pues, claro, que la causa de la proyección se reduce tanto más cuanto mayor es la rueda».

El razonamiento de Salviati es perfecto, pero para hacerlo comprensible ha tenido que desarrollar toda una teoría de la fuerza centrífuga y mostrar, en primer lugar, que esa fuerza no está dirigida radialmente, hacia la circunferencia, sino, al contrario, tangencial y perpendicularmente al radio de la rueda [268].

De lo que, sin embargo, parece desprenderse —y se desprende además efectivamente— que (cuando las dos ruedas tienen una misma velocidad angular) el móvil colocado en la rueda grande, el cual, por lo tanto, se mueve linealmente más deprisa que el móvil colocado en la rueda menor, tendrá un *impetus* mucho mayor. Por eso —si las dos tienen la misma velocidad angular— será lanzado mucho más lejos por una honda o una caña larga que por una corta. Sin duda, responderá Galileo, si es que logra dejar la rueda (o la honda). Pero, por sí mismo, no podrá, ya que la fuerza más pequeña bastará para retenerlo.

En efecto, el *impetus* del móvil en movimiento circular está dirigido por la tangente del círculo de su movimiento, y trata de separarlo del círculo en cuestión. ¿Pero cómo se produce esa separación? Simplicio, a quien es planteada la pregunta, no la comprende bien. No sabe qué responder. Jamás había pensado en eso. Pero Salviati le tranquiliza. Lo único que le hace falta son los términos. En cuanto al fondo de la cuestión le dice [269], «de la misma manera que habéis sabido lo que precede, sabréis, no, sabéis, el resto; y si pensáis en ello también lo recordaréis; pero para abreviar tiempo os ayudaré a recordar. Hasta aquí, habéis reconocido vos mismo que el movimiento circular del proyectante imprime en el proyectil un *impetus* que le hace moverse [cuando se separan] por la recta tangente al círculo en el punto de la separación, y que, al continuar movién-

[268] Cf. *Dialogo*, II, pp. 217 ss.
[269] *Dialogo*, II, p. 219. Señalemos la técnica socrática de Salviati.

dose por esta línea, se aleja continuamente del proyector. Y habéis dicho que el proyectil seguiría moviéndose por esa línea recta si por su propio peso no le fuera añadida la inclinación [a moverse] hacia abajo, de la cual deriva la curvatura de la línea del movimiento. Me parece también que habéis sabido por vos mismo que esta curvatura tiende siempre hacia el centro de la tierra, porque hacia allí tienden todos los graves. Bueno, remontémonos un poco atrás y preguntémonos si el móvil, después de la separación, al continuar su movimiento rectilíneo se va alejando siempre por igual del centro, o, si lo preferís, de la circunferencia del círculo en el que participaba el movimiento anterior [la separación]; lo que quiere decir que, si un móvil parte del punto de la tangente y se mueve por esa tangente, se aleja por igual del punto de contacto y de la circunferencia del círculo». Simplicio ha comprendido. Por eso responde[270]:

—SIMPLICIO: «Oh, no, puesto que la tangente en las cercanías del punto de contacto no se separa sino un poco de la circunferencia con la cual forma un ángulo sumamente agudo, mientras que al alejarse cada vez más, su alejamiento [de la circunferencia] crece en una proporción cada vez mayor...».

A Galileo no le interesa el destino ulterior de la piedra lanzada. Lo que le interesa es lo que le ocurre en el momento mismo de la separación, en el momento en que la piedra, al cesar de moverse circularmente, comienza su movimiento rectilíneo. Por eso torna a llevar allí el debate[271]:

—SALVIATI: «Así pues, ¿la separación del proyectil con respecto a la circunferencia del movimiento circular anterior es sumamente pequeña al principio?». —SIMPLICIO: «Casi insensible». —SALVIATI: «Entonces, decidme, ¿cuándo comenzará a declinar hacia abajo, después de la separación el proyectil que recibe del movimiento del proyector el *impetus* que le hace moverse por la recta tangente y que lo haría también si su propio peso no tirara de él hacia abajo?». —SIMPLICIO: «Creo que comienza inmediatamente [a hacerlo] porque, al no haber nada que lo sostenga, no es posible que deje de actuar su propia gravedad». —SALVIATI: «Así pues, si esta piedra que es lanzada por dicha rueda, movida en círculo a gran velocidad, tuviera la misma propensión natural a moverse hacia el centro de esta rueda que tiene a moverse hacia el centro de la tierra, sería fácil que regresase a la rueda, o más bien, que no partiese de allí. Pues al principio de la separación el alejamiento es tan pequeño, a causa de la ínfima pequeñez del ángulo del contacto, que todo *mínimo*

---

[270] *Ibid.*
[271] *Dialogo*, II, pp. 220 ss.

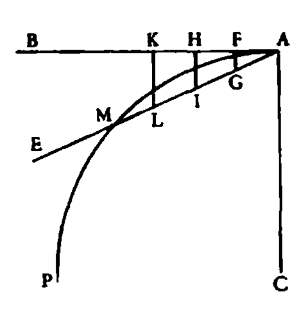
ínfimo de inclinación que la acercara hacia el centro de la rueda bastaría para retenerla en la circunferencia».

El razonamiento galileano, aunque falso, es plausible; en efecto, el ángulo formado por la circunferencia de la rueda y la dirección del movimiento *(impetus)* impreso a la piedra por la rotación es infinitamente pequeño; su componente radial es pues infinitamente pequeño; por lo tanto, concluye Galileo, para compensarlo basta una fuerza infinitamente pequeña.

Para que la proyección se realice basta y sobra con que la velocidad producida por la rotación sobrepase a la de la caída. Claro está que no se trata de la velocidad tangencial, sino de la velocidad de alejamiento, de la velocidad radial. Pero ¿por qué razón ésta última, si bien infinitesimal, no ha de ser mayor que la de la caída?

Galileo estima que eso es imposible. Y que lo sería igualmente, aun si, como pretende el aristotelismo, la velocidad de la caída disminuyera con el peso del grave. Aun entonces, aun si el aligeramiento del móvil disminuyera infinitamente la velocidad de la caída y la proyección fuera favorecida «por dos causas, a saber la levedad del móvil y la proximidad del término del reposo, ambas aumentables hasta el infinito», esta doble infinitud no bastaría. *A fortiori*, por consiguiente, una sola sería insuficiente[272].

La demostración galileana es curiosa en extremo[273]: «Tracemos —nos dice— una línea vertical hacia el centro, AC, y tracemos, en ángulo recto, la horizontal AB por la cual se haría el movimiento de proyección, es decir, por la cual el proyectil continuaría moviéndose con movimiento uniforme si la gravedad no lo inclinara hacia abajo. Tracemos también desde A una línea recta AE que haga con AB un ángulo cualquiera, y marquemos sobre AB algunos espacios iguales, AF, FH, HK, y tracemos las verticales FG, HI, KL. Ahora bien, dado que, como se ha dicho en otra parte, el grave que cae a partir del reposo adquiere con el tiempo un grado cada vez mayor de velocidad a medida que transcurre el tiempo, podemos imaginar que los espacios AF, FH, HK representan tiempos iguales, y las perpendiculares FG, HI, KL grados de velocidad adquiridos en dichos tiempos, de forma



[272] *Dialogo*, II, p. 228.
[273] *Dialogo*, II, p. 225.

que el grado de velocidad adquirido durante todo el tiempo AK sea como la línea KL comparada al grado HI adquirido en el tiempo AH y al grado FG adquirido en el tiempo AF, teniendo los grados KL, HI, FG, como es manifiesto, la misma proporción que los tiempos KA, HA, FA.

»Y si se trazaran otras verticales desde puntos escogidos arbitrariamente en la línea FA, procediendo hacia el punto A que representa el primer instante de tiempo y el estado inicial de reposo, siempre resultarían grados cada vez menores, hasta el infinito. Pues bien, este desplazamiento hacia A representa la primera propensión al movimiento hacia abajo, disminuida hasta el infinito por el acercamiento del móvil al estado inicial de reposo, acercamiento que puede crecer hasta el infinito... Como consecuencia de lo cual la velocidad del movimiento hacia abajo podrá decrecer hasta tal punto que ya no baste para llevar al móvil a la circunferencia de la rueda y para hacer que la proyección sea impedida y suprimida. Pero, por el contrario, para que la proyección no se haga es preciso que los espacios por los cuales debe descender el proyectil para unirse a la rueda se hagan tan breves y estrechos que por más lento, e incluso disminuido hasta el infinito que sea el descenso del móvil, baste, no obstante, para llevarlo hasta la rueda; sería, pues, necesario que hubiera una disminución de estos espacios que no sólo progresara hasta el infinito, sino que además fuera de tal infinitud que sobrepasara la infinitud [doble] que se verifica con la disminución de la velocidad de la caída hacia abajo. Pero ¿cómo puede una magnitud disminuir más que otra que se aminora infinitamente? Pues bien, señor Simplicio, ¡vea si es posible sin la geometría filosofar sobre la naturaleza! Los grados de velocidad disminuidos hasta el infinito... están siempre determinados y corresponden proporcionalmente a las paralelas comprendidas entre las dos líneas rectas que forman un ángulo [BAE]... rectilíneo; pero la disminución de los espacios por los cuales tiene que regresar el móvil a la circunferencia de la rueda es proporcional a otro grupo de disminución, comprendido entre líneas que forman un ángulo infinitamente más agudo y más tirante que cualquier ángulo rectilíneo, sea el que fuere. Tomad en la vertical AC un punto cualquiera C, describid con el radio AC un arco AMP, y éste cortará las paralelas que determinan los grados de velocidad, por pequeñas que sean, comprendidas en el interior del ángulo rectilíneo más agudo; y de estas paralelas, las partes que queden entre el arco y la tangente AB serán los espacios que haya que atravesar para regresar a la rueda, espacios cada vez más pequeños a medida que se acercan al

punto de contacto, más pequeños, digo, que las paralelas de las cuales son partes. Las paralelas comprendidas entre las líneas rectas, al acercarse al ángulo disminuyen continuamente en la misma proporción; así por ejemplo, si la línea AH es dividida por la mitad en F, la paralela HI será el doble de FG, y si FA fuera dividida por la mitad, la paralela del punto de división sería la mitad de FG, y si se continuara indefinidamente esta subdivisión, las siguientes paralelas serían siempre la mitad de las precedentes más cercanas; pero esto no sucede con las líneas comprendidas entre la tangente y la circunferencia del círculo: haced, pues, dicha subdivisión de FA y suponed, por ejemplo, que la paralela que viene del punto H es el doble de la que viene de F, ésta será más del doble de la que sigue y así sucesivamente; cuando avancemos hacia el punto de contacto A encontraremos que las líneas precedentes contienen a las siguientes más próximas tres, cuatro, diez, mil, cien mil, cien millones de veces, y más, hasta el infinito. De este modo la longitud de estas líneas decrece con mucha mayor rapidez de la que sería precisa para hacer que el proyectil... regrese, y, por consiguiente, se mantenga en la circunferencia...».

El razonamiento galileano —que hemos querido citar completo: nada, en efecto, es más instructivo que el error— es, ya lo hemos dicho, sumamente seductor y sutil. Desgraciadamente, es falso; y, lo que es más grave, manifiestamente falso. Sin duda, los razonamientos infinitesimales son difíciles; y la tentación de la geometrización a ultranza es muy fuerte. Sin embargo, esa tentación no es invencible y nadie mejor que Galileo se da cuenta de los peligros que encierra.

El error que comete Galileo no es simplemente una inadvertencia. Sabe muy bien que el movimiento rápido de la rueda (o de la honda) puede romper el lazo que la une a la piedra[274]. Sabe, pues, que una fuerza determinada puede ser vencida y superada por la fuerza centrífuga siempre que el movimiento de rotación sea lo suficientemente rápido. Si Galileo no admite esta posibilidad en el caso de la rotación terrestre y ni siquiera advierte la contradicción en que de tal modo incurre (que a nuestros ojos es flagrante), es porque para él la fuerza natural de la pesantez que atrae —o que empuja— a los graves hacia el centro de la tierra no puede ser colocada en el mismo plano que la acción exterior —adventicia, violenta— del lazo que una la piedra a la rueda. La gravedad actúa constante y naturalmente. Y para que la fuerza centrífuga pueda vencerla, habría sido

[274] Cf. *Dialogo*, II, pp. 216, 221.

preciso, nos dice, que el cuerpo pudiera *vencerse* y *superarse él mismo*[275]. Lo que significa que, para Galileo, la gravedad fundamenta y explica la facultad que posee el cuerpo de recibir y almacenar el movimiento: en virtud de la misma gravedad, el mismo cuerpo recibe el impulso lineal de la rotación terrestre y tiende hacia el centro de ella. Por eso explica a Sagredo que la disminución de la gravedad es irrelevante; en efecto, con ésta, y en la misma medida, disminuye también la capacidad de recibir el *impetus* del movimiento[276].

El *impetus* es, sin duda, rectilíneo. Pero sólo lo es en el instante[277]. Ahora bien, ningún movimiento se hace en el instante. Y ningún movimiento real puede hacerse en línea recta: la gravedad se opone a esto. El movimiento rectilíneo sólo podría darse en un cuerpo privado de gravedad. Pero, por desgracia, tal cuerpo no sería un cuerpo real; y no podría recibir *impetus.*

¡Qué curioso! El progreso alcanzado por Galileo en su análisis del movimiento en general, y del lanzamiento en particular, le lleva a desconocer el papel del movimiento en línea recta, porque le hace reconocer que no tiene existencia real.

Ciertamente, el movimiento violento —o al menos el *impetus* del movimiento violento— es siempre en línea recta. La bala del arcabuz parte en línea recta, igual que la flecha, la piedra que se lanza, etc. Pero nunca se mueve en línea recta. Galileo, en oposición a sus predecesores, mecánicos y artilleros, que descomponían la trayectoria de la bala de cañón en una parte rectilínea y otra curvilínea, suprime la parte rectilínea. El principio de la relatividad del movimiento le lleva a comprender que, puesto que los movimientos horizontal y vertical no se estorban, y habida cuenta de que la gravedad actúa siempre, la trayectoria se curva desde el principio[278]. La bala sólo podría volar en línea recta si no tuviera peso. Pero entonces, con toda evidencia, no se podría lanzarla.

La inexistencia, o más exactamente, la imposibilidad del movimiento rectilíneo «inercial» en la tierra no explica, sin embargo —al menos no lo bastante—, el error galileano que estamos estudiando. Es verdad que el movimiento por la tangente es imposible. Pero Galileo es lo bastante buen geómetra como para saber que entre la tangente y la circunferencia (la superficie de la tierra) se puede colocar una infinidad de curvas e incluso de circunferencias que podría seguir el movimiento de la piedra proyectada por la rotación. ¿Por qué se niega a admitir y aun

[275] Cf. *Dialogo,* II, pp. 220, 222.
[276] Cf. *Dialogo,* II, p. 229. Cf. Kepler, citado *supra,* pp. 187 ss.
[277] Cf. *Dialogo,* II, p. 221.
[278] Cf. *Dialogo,* pp. 225, 229.

a examinar esta posibilidad? En el fondo, ya lo hemos dicho: admitirla sería abandonar la relatividad general del movimiento en beneficio de una relatividad parcial, limitada a un caso irrealizable y, hablando estrictamente, imposible: el del movimiento rectilíneo; sería renunciar a ver en el movimiento de un grave alrededor del centro —ese movimiento que no eleva ni baja pesos— un movimiento físicamente privilegiado; sería admitir que en una tierra en movimiento las cosas no suceden como en una tierra inmóvil[279]; y en particular, que los graves que caen desde lo alto de una torre nunca llegarán, hablando en rigor, al pie de ésta, como tampoco llegarán nunca al centro de la tierra.

Pues bien, Galileo está tan persuadido de esto que esa convicción lo lleva a cometer de nuevo un error, y a establecer para el movimiento complejo resultante del lanzamiento (o, lo que es lo mismo, para el movimiento complejo real de la caída en una tierra en rotación) una ley sensiblemente inexacta, al declarar que la trayectoria del movimiento en cuestión sería una circunferencia y no, como bien sabemos y como más tarde lo establecerá él mismo, una parábola[280]. Error explicable porque, en su razonamiento, Galileo admite como evidente: *a)* que el grave que tiende naturalmente hacia el centro de la tierra termina por llegar a él, y *b)* que su movimiento, tal como se produciría si su gravedad no le dirigiera hacia el centro de la tierra, o sea, si algo (la superficie de la tierra, por ejemplo) le impidiera ir allí, se efectuaría, naturalmente, en círculo[281]. Pero he aquí

---

[279] Sin embargo, hay un fenómeno que, según Galileo, no sucede en una tierra en movimiento como sucedería en una tierra inmóvil: ¡ay!, es el fenómeno del flujo y del reflujo, que la cuarta jornada del *Dialogo* presenta como resultante del *doble movimiento* de la tierra.

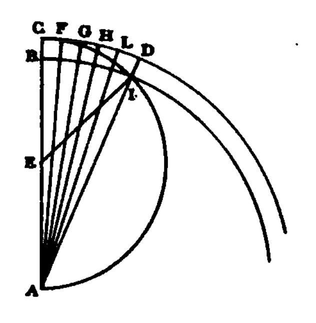
[280] *Dialogo*, II, p. 191, al margen: «*La linea descritta dal cadente naturale, supposto il moto della Terra circa il proprio centro, sarebbe probabilmente circonferenza di cerchio*»; *ibid.*, p. 192, al magen: «*Mobile cadente dalla cima della torre si muove per la circonferenza d'un cerchio; Non si muove più nè meno che se fusse restato la su. Si muove dal moto equabile, e non accelerato.*» Cf. *Discorsi*, III, p. 190; IV, pp. 268 ss.

[281] *Dialogo*, II, pp. 227 ss. Como es sabido, Cavalieri fue el primero que demostró que la trayectoria del proyectil era una parábola (véase *Speccio ustorio*, pp. 151 ss.). Ahora bien, parece ser (cf. E. Wohlwill, «Die Entdeckung...», en *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, vol. XV, pp. 107, 109, n. 2, y «Entdeckung der Parabelform der Wurflinie», en *Abhandlungen zur Geschichte der Mathemathik*, Leipzig, 1899) que, en la época de la publicación del *Speccio* (1632), Galileo estaba ya, e incluso desde hacía mucho tiempo (desde 1610), en posesión de esta ley. Por ello, reprocha amargamente a Cavalieri el haberle privado de la gloria de publicar este hermoso descubrimiento. Pero entonces, ¿por qué no lo hizo en el *Dialogo*? ¿Por qué publicó una ley inexacta? Ni Wohlwill —ni, que sepamos, ningún otro— nos ha dado nunca la respuesta. No obstante, ésta nos parece sencilla: Galileo

ese texto tan curioso y, digámoslo francamente, tan mal comprendido por lo común:

—SALVIATI: «Si el movimiento rectilíneo hacia el centro de la tierra fuera uniforme, al serlo igualmente el movimiento hacia Oriente, se vería que de estos dos movimientos se formaría un movimiento en línea espiral, del género de las que Arquímedes definió en su libro... Pero, puesto que el movimiento del grave que cae es continuamente acelerado, de ello se sigue necesariamente que la línea compuesta por los dos movimientos se aleja en una proporción continuamente mayor de la circunferencia del círculo que el centro de gravedad de la piedra habría descrito si ésta hubiera permanecido en la torre; y es necesario que este alejamiento, al principio, sea pequeño, e incluso mínimo y minimísimo, ya que el grave, que parte del reposo, es decir de la privación del movimiento, y adquiere un movimiento rectilíneo hacia abajo, está obligado a pasar por todos los grados de lentitud que se hallan entre el reposo y una velocidad cualquiera, los cuales son infinitos, como ya se ha explicado y demostrado.

»Pues bien, dado que tal es el progreso de la aceleración, y dado, además, *que el movimiento del grave que desciende tiene por término el centro de la tierra*[282], es necesario que la línea de su movimiento compuesto sea tal que, aunque se aleje cada vez más rápidamente de la cima de la torre, o, mejor dicho, de la circunferencia descrita por la cima de la torre a consecuencia de la revolución de la tierra, se separe cada vez menos, infinitamente, a medida que se retrocede hacia el término inicial del movimiento. Y, además, *es necesario que la línea del movimiento compuesto llegue a terminarse en el centro de la tierra*[283]. Ahora bien, hechas estas dos presuposiciones, describamos alrededor del centro A con el semidiámetro AB el círculo BI que representa el globo terrestre; y prolongando el semidiámetro AB hasta C, describiremos la altura de la torre BC, la cual, llevada por la tierra sobre la circunferencia BI, describe con su cima el arco CD; dividamos ahora la línea CA por la mitad en E,



estudia en el *Dialogo* los fenómenos que suceden *en la tierra*. Por eso no da más que una ley *probable*.

[282] El subrayado es nuestro.

[283] El subrayado es nuestro.

y tomando E como centro describamos con el radio EC el semicírculo CIA. Afirmo que se puede creer con bastante probabilidad que una piedra que caiga de la cima de la torre C se moverá con un movimiento compuesto por su propio movimiento rectilíneo y por el movimiento circular común, siguiendo el semicírculo CIA. En efecto, designemos sobre la circunferencia CD algunas partes iguales CF, FG, GH, HL, y, desde los puntos F, G, H, L, tracemos hacia el centro A líneas rectas: las partes de estas líneas comprendidas entre las dos circunferencias CD y BI representarán siempre la misma torre CB, transportada por el globo terrestre hacia DI; y en estas líneas, los puntos en que las mismas son cortadas por el arco del semicírculo CI son los lugares donde, de instante en instante, se encuentra la piedra que cae; estos puntos se alejan de la torre cada vez más rápidamente, lo que hace que el movimiento de la piedra a lo largo de la torre resulte cada vez más acelerado. También se puede ver, merced al hecho de que el ángulo de contacto de las dos circunferencias CD y CI es infinitamente agudo, que la separación entre el móvil y la circunferencia CFD es, al principio, extremadamente pequeña; en otras palabras, que el movimiento hacia abajo es extremadamente lento y se retarda cada vez más, hasta el infinito, a medida que se está más cerca del término C, o sea del estado de reposo; y se comprende cómo, finalmente, tal movimiento irá a terminarse en el centro de la tierra».

Se ve claro: para los movimientos reales, los movimientos de los cuerpos graves en la tierra, el plano horizontal —como dijimos anteriormente— es y sigue siendo una circunferencia.

Quizá se nos objete que Galileo llega en los *Discorsi* a desembarazarse de esa obsesión por lo esférico y lo circular. Sin duda. Los *Discorsi* no sólo representan una fase posterior del pensamiento galileano sino también, e incluso sobre todo, una etapa de «abstracción» mucho más elevada[284]. Por eso, en los *Discorsi* la línea recta no es un círculo, ni el plano horizontal una esfera. Lo que pasa es que el mundo arquimediano que estudian los *Discorsi* no es el mundo de la realidad terrestre: los graves de ese mundo no caen hacia el centro de la tierra. Y, sin embargo, caen. Pero la dirección de la pesantez no es hacia un «centro»[285]; las «líneas de fuerza» de la gravedad son paralelas: por eso el plano horizontal de ese mundo es un plano euclidiano.

---

[284] La publicación de los *Discorsi* es seis años posterior a la del *Dialogo*. Pero su elaboración —al menos parcial— es sin duda bastante anterior, o, a lo más, contemporánea de la redacción de la obra cosmológica.

[285] Al menos, no siempre; cf., sin embargo, el texto citado *supra*, páginas 242-243.

Pero ellas existen; y esa es la razón por la cual resulta imposible el movimiento inercial en línea recta.

En efecto, examinemos los dos textos de los *Discorsi* donde Galileo se acerca más a ello: allí veremos cómo Galileo afirma resueltamente el carácter natural del movimiento hacia abajo; y, una vez más, veremos que es incapaz de hacer abstracción de la pesantez.

En primer lugar citemos ese admirable texto de la tercera jornada de los *Discorsi* que, en un resumen sorprendente, nos presenta los principios básicos de la física galileana, los principios de la relatividad y de la conservación del movimiento[288]: «...hay que considerar el hecho de que el grado de velocidad que se encuentra en el móvil está, por naturaleza, indeleblemente impreso, en tanto que causas externas de aceleración o de deceleración no lo destruyan. Lo que no sucede más que en el movimiento horizontal. Pues en los planos inclinados se está en presencia de una causa de aceleración; y en los planos que se elevan, de una causa de deceleración: de donde se deduce que el movimiento en el plano horizontal es eterno. Pues si es uniforme, no se debilita ni disminuye de velocidad ni, menos aún, se destruye. Además, hay que considerar [el caso] en el que tal grado de velocidad, por naturaleza indeleble y eterno, fuera adquirido por el móvil en el descenso natural, y en el que el móvil, tras el descenso, fuera reflejado en otro plano ascendente: entonces habría una causa de deceleración. En efecto, naturalmente, en tal plano ese mismo cuerpo desciende. Es la razón por la que se forma cierta mezcla de afecciones contrarias, a saber, del grado de esa velocidad adquirido en el descenso precedente, grado de velocidad que en sí llevaría al móvil hasta el infinito a una velocidad uniforme, y de la propensión natural a moverse hacia abajo acelerándose según esta misma proporción conforme a la cual se hace siempre este movimiento. Por eso parece muy razonable que, al buscar cuáles son los accidentes [del movimiento] allí donde el móvil, tras el descenso por un plano inclinado, es reflejado en un plano ascendente, admitamos que ese grado *máximo* alcanzado en el descenso se conserva en sí perpetuamente idéntico; y que, sin embargo, en el momento del ascenso se superpone a él la inclinación natural hacia abajo, es decir, un movimiento naturalmente acelerado a partir del reposo, [acelerado] según la proporción siempre admitida...».

Está visto: en el mundo arquimediano de los *Discorsi*, el plano horizontal en el que el movimiento uniforme continúa eternamente ya no es una superficie esférica; es un plano geo-

[288] *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 243.

métrico infinito; y el grado de velocidad adquirido por el grave se conserva en él eternamente, cualquiera que sea la dirección de su movimiento, lo que significa que todo grave o, lo que es igual, todo cuerpo una vez puesto en movimiento en el plano horizontal, se mueve eternamente con movimiento rectilíneo y uniforme... Estamos, como dijimos, en el umbral del principio de inercia; y no vamos a atravesarlo. Pues de inmediato añade Galileo que el cuerpo en cuestión se moverá naturalmente hacia abajo, que se acelerará naturalmente al descender, y que disminuirá su velocidad al subir... Además, su movimiento rectilíneo sólo persiste, o, si se prefiere, sólo sigue siendo rectilíneo *mientras se mueve en ese plano.* Ahora bien, ¿qué sucedería si ese *plano* llegara a faltar, a no sostener su movimiento? Nos lo va a decir un famoso texto de la cuarta jornada, texto en el que también se ve una manifestación del principio de inercia [287]: «Imagino un móvil lanzado sobre un plano horizontal, libre de todo obstáculo. Se sabe, por lo que se ha dicho en otra parte, que su movimiento seguirá siendo indefinidamente uniforme en ese plano si se extiende hasta el infinito. Pero si ese plano es limitado y se encuentra instalado en el aire, cuando el móvil *que suponemos está sometido a la gravedad* [288] rebase su extremo, a su primer movimiento uniforme e indestructible añadirá la propensión que, *debido a su gravedad* [289], tiene [a ir] hacia abajo; de allí surgirá un movimiento compuesto por el movimiento horizontal y el movimiento naturalmente acelerado del descenso. A ese movimiento lo llamo *proyección...*» y ese movimiento, como lo prueba Galileo en una demostración desde entonces clásica, será una semiparábola.

Así vemos que cuando falta el plano, cuando éste ya no sostiene al grave, el grave cae. Su movimiento sólo prosigue en línea recta mientras permanece en el plano horizontal; cuando ya no está en él, ese movimiento, en sí, se prolonga, pero el grave ya no se mueve en línea recta.

Seguramente podría objetársenos que Galileo razona aquí *ex hypothesi* que los cuerpos están «sometidos a la gravedad», lo que, después de todo, es una suposición normal; y que, por otra parte, nosotros mismos no razonamos de modo diferente [290]. Sin duda. Por eso el razonamiento de Galileo nos parece tan «moderno»; olvidamos que nosotros explicamos la «pesantez» —aun cuando sólo sea sustituyéndola por la atracción newtoniana de

---

[287] *Discorsi e dimostrazioni,* IV, p. 268.
[288] El subrayado es nuestro.
[289] El subrayado es nuestro.
[290] Cf. E. Mach, *Die Mechanik...,* pp. 132 ss., 265 ss.

los cuerpos entre sí—, y que si podemos imaginar a los cuerpos sometidos a la gravedad también podemos imaginar que no lo están. Es lo que hacemos, o al menos hacíamos, cuando, al distinguir la gravedad de la masa, establecíamos los primeros principios de nuestra física. Pues bien, eso es justamente lo que no hace Galileo. Y no lo puede hacer porque —en términos modernos— para él la gravedad y la masa se confunden. Es la razón por la cual la gravedad no es para él una «fuerza» que *actúa* sobre el cuerpo; es algo a lo que el cuerpo está «sometido», algo que pertenece al propio cuerpo. Por eso no experimenta ninguna variación ni en el tiempo ni en el espacio. Un cuerpo pesa lo que pesa en cualquier parte y siempre, y cae a la misma velocidad, dondequiera que se le sitúe: muy cerca del centro de la tierra, o al contrario, en las estrellas[291]. Cierto, Galileo puede perfectamente —siguiendo a Arquímedes— abstraerse, o hacer abstracción de la realidad y no tener en cuenta la dirección real que toma la gravedad en la tierra (cosa que por otra parte le reprocharán, unánimemente, Simplicio y Sagredo)[292]; para justificar este proceder, puede presentarnos su mundo arquimediano como una primera aproximación (en lo cual tiene razón, e incluso por partida doble: la ley arquimediana de la caída es una aproximación a la ley real, más compleja; y el mundo arquimediano es, partiendo del mundo geométrico, una primera aproximación al mundo físico), pero no puede llevar la «abstracción» más allá, y ello porque la gravedad, como hemos visto en más de una ocasión, es una propiedad constitutiva e inseparable del cuerpo físico.

La física de Galileo explica lo que es a partir de lo que no es. Descartes y Newton van más lejos: sus físicas explican lo que es a partir de lo que no puede ser; explican lo real a partir de lo imposible. Como hemos visto, Galileo no lo hace. Sin embargo, no se lo reprochemos. En efecto, en este caso lo imposible, es decir, el movimiento inercial en línea recta, es en cierto modo menos imposible para Newton y Descartes que para Galileo. O, si se prefiere, la imposibilidad de este movimiento no es la misma. No tiene la misma estructura.

Para Newton, el movimiento rectilíneo de un cuerpo lanzado al espacio es imposible porque la acción de los otros cuerpos lo modifica, lo desvía y lo impide. Un cuerpo únicamente podría

---

[291] Así, cuando calcula en cuánto tiempo llegaría a la tierra una piedra que cayera de la esfera de la luna (*Dialogo*, III, p. 305), admite que su aceleración *no varía* con su distancia de la tierra. Es curioso señalar que Kepler ya sabía que esto era falso.

[292] Cf. *Discorsi*, IV, p. 298. Cf. *infra*, pp. 287 ss., la respuesta de Torricelli a esta objeción.

moverse en línea recta si estuviera solo en el espacio. Condición sin duda imposible. Pero sólo es imposible de hecho. Pues, en rigor, muy bien podría Dios hacer que esa condición se cumpliera.

En Descartes, la imposibilidad del movimiento inercial es mucho más profunda. Sin duda en él, como en Newton, se trata de una imposibilidad en cierto modo exterior: un cuerpo no se puede mover en línea recta porque los otros —los cuerpos que lo rodean— se lo impiden. Pero, para Descartes, un cuerpo aislado es inconcebible. El propio Dios no podría apartar los obstáculos que se alzan, necesariamente, en su camino. Finalmente, en Galileo la imposibilidad no es externa. Si ningún cuerpo puede moverse en línea recta, no es porque encuentre necesariamente obstáculos, o experimente atracciones, que se lo impiden. Es porque de por sí rehúsa el movimiento rectilíneo. Su peso lo arrastra hacia abajo. Y si, cosa imposible, se suprimiera ese peso, su movimiento no se enderezaría; desaparecería con el ser *físico* del cuerpo.

Por eso, como acabamos de ver, *Galileo no formuló el principio de inercia.* No llegó al final del camino que lleva del Cosmos bien ordenado de la ciencia medieval y antigua al Universo infinito de la ciencia clásica. Fue Descartes quien tuvo la oportunidad de hacerlo.

CONCLUSION

Y, sin embargo, no sin razón la tradición histórica ha visto en Galileo al padre de la ciencia clásica: en efecto, es en su obra, y no en la de Descartes[293], donde por primera vez en la historia del pensamiento humano se realiza la idea de la física matemática, o mejor aún, la idea del matematismo físico.

Por ello la gran cuestión, debatida a todo lo largo del *Dialogo* y subyacente en todos sus desarrollos —cuestión más importante aún que la del valor de los dos sistemas astronómicos opuestos, pese a todo de alcance limitado— es la cuestión del valor respectivo de dos filosofías. Pues la solución del problema astronómico depende de la constitución de una ciencia física; y ésta, a su vez, presupone la previa solución de la cuestión —filosófica— de la naturaleza y la estructura de esta ciencia. Lo que *in concreto* quiere decir que se trata de saber cuál es el

---

[293] La física de Descartes, como se sabe, lleva a un fracaso total (véase *supra*, pp. 125 ss.); «física matemática sin matemáticas», como bien dice P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, París, 1934, página 114.

papel desempeñado por las matemáticas en la constitución de la ciencia de lo real.

El papel de las matemáticas en la ciencia física: no es éste un problema nuevo. Muy al contrario: desde hace dos mil años es objeto de meditación —y de discusión— filosófica. Y Galileo en ningún modo lo ignoraba. Ya en la época en que, siendo un joven estudiante, seguía en Pisa los cursos de filosofía de Francesco Bonamico, pudo aprender que la cuestión del papel y la naturaleza de las matemáticas era el principal tema de discusión entre Aristóteles y Platón [294].

Y cuando algunos años más tarde regresó a Pisa —en esta ocasión para impartir él la enseñanza—, su amigo y colega Jacopo Mazzoni, autor de una obra sobre las relaciones entre Platón y Aristóteles, le confirmó «que no hay... otra *cuestión*, es decir, diferencia que haya dado lugar a tantas especulaciones muy nobles y muy bellas... como la cuestión: si el uso de las matemáticas en la ciencia física, en cuanto instrumento de prueba y término medio de la demostración, es oportuno o inoportuno, es decir, si nos aporta alguna verdad o si, por el contrario, resulta perjudicial y peligroso. En efecto, Platón creía que las matemáticas eran muy adecuadas para las especulaciones físicas. Y por esa razón recurrió a ellas en varias ocasiones para explicar los misterios físicos. Pero parece que Aristóteles tenía un criterio completamente opuesto, y atribuía los errores de Platón a su amor por las matemáticas» [295].

---

[294] F. Bonamico, *De motu*, Florentiae, 1695, l. I, pp. 54 ss.: «Mathematicae cum ex notis nobis, et natura simul efficiant id quod cupiunt, sic caeteris demonstrationis perspicuitate praeponentur, nam vis rerum quas ipsae tractant, non est admodum nobilis; quippe quod sint accidentia, id est habeant rationem substantiae quatenus subiicitur, et determinantur quanto; eaque considerentur longe secus atque in natura existant; usque adeo ut nonnullis non naturae, sed mentis opera esse credantur. Attamen nonnullarum rerum ingenium tale esse comperimus, ut ad certam materiam sese non applicent, neque motum consequantur, quia tamen in natura quicquid est, cum motu existit; opus est abstractione cuius beneficio quantum motu non comprehenso in eo munere contemplamur; et cum talis sit earum natura nihil absurdi exoritur. Quod item confirmatur, quod mens in omni habitu verum dicit; atqui verum est ex eo, quod res ita est. Huc accedit quod Aristoteles distinguit scientias non ex ratione notionum, sed entium. Caeterum et mathematicae gradus habent: quando ea quae considerat quantum discretum certior est quam ea quae tractat continuum, cum superet perspicuitate demonstrationis, et simplicitate subjecti, nam quantum continuum se habet ad discretum ut includens positionem, punctus enim est unitas cum positione. Et multo praestantior est Astrologia, quippe quod sola ex mathematicis de substantia atque illa quidem perpetua et caussas invariabiles habentes disserat, ideoque sit omnium maxime affinis primae philosophiae.»

[295] Cf. Jacobi Mazzonii, Caesenatis, in Almo Gymnasio pisano Aris-

Está muy claro: para la conciencia filosófica y científica de la época —Bonamico y Mazzoni no hacen en realidad sino expresar la opinión común—[296] la línea divisoria entre aristotélicos y platónicos es muy nítida: si se proclama el valor *superior* de las matemáticas, si, además, se les atribuye un valor real y una posición dominante en y para la física, se es platónico; si, al contrario, en las matemáticas se ve una ciencia «abstracta» y, por lo tanto, de *menor valor* que las ciencias —física y metafísica— que se ocupan de lo real, si, en particular, se pretende fundamentar la física *directamente sobre la experiencia*, no atribuyendo a las matemáticas más que un papel auxiliar, se es aristotélico.

---

totelem ordinarie, Platonem vero extra ordinem profitentis, *In Universam Platonis et Aristotelis Philosophiam Praeludia, sive de Comparatione Platonis et Aristotelis*, liber primus... Venetiis, MDCXCVII, Apud Joannem Guerilium, pp. 187 ss.: «Disputatur utrum usus mathematicarum in Physica utilitatem, vel detrimentum afferat, et in hoc Platonis, et Aristotelis comparatio. Quartae sectionis. Caput sextum. Libri Decimumoctavum, p. 188: Non est enim inter Platonem, et Aristotelem quaestio, seu differentia, quae tot pulcris, et nobilissimis speculationibus scateat, ut cum ista, ne in minima quidem parte comparari possit. Est autem differentia, utrum usus mathematicarum in scientia Physica tanquam ratio probandi, et medius terminus demonstrationum sit opportunus, vel importunus, id est, an utilitatem aliquam afferat, vel potius detrimentum et damnum. Credidit Plato Mathematicas, ad speculationes physicas apprime esse accomodatas. Quapropter passim eas adhibet in reserandis mysteriis physicis. Ac Aristoteles omnino secus sentire videtur, erroresque Platonis adscribet amori Mathematicarum... Sed si quis voluerit hanc rem diligentius considerare, forsan, et Platonis defensionem inveniet, videbitque Aristotelem in nonnullos errorum scopulos impegisse, quod quibusdam in locis Mathematicas demonstrationes proprio consilio valde consentaneas, aut non intellexerit, aut certe non adhibuerit. Utramque conclusionem, quarum prima ad Platonis tutelam attinet, secunda errores Aristotelis ob Mathematicas male rejectas profitetur, brevissimis demonstrabo.» Cf. *ibid.*, p. 190: «Nunc... videamus, quomodo Aristoteles ob non adhibitas opportunis locis mathematicas demonstrationes, maxime recesserit a vera philosophandi ratione. Ille itaque in quarto libro Physicorum multis rationibus probans vacuum non posse dari, illud inter cetera dicit, nempe quod si daretur vacuum, in eo motus fieret in instanti. Existimat enim successionem in motu ex medij, quando a mobili dividitur, resistentia provenire. Ita ubi medium majorem habet resistentiam; ibi mobile diutius moretur, ubi minorem, minus. Et ideo ubi nullam in veniet resistentiam, momento fiet motus. Hanc Aristotelis opinionem omnino falsam, et absurdam esse demonstrant Mathematici, quorum rationes ego compendio colligam. Illud itaque; in primis supponunt ex libro Archimedis *de insidentibus* motum prodire a virtute motrice. Virtus autem deorsum impellens corpora est gravitas, quemadmodum et illa, quae rursus attolit corpora gravia, est vis corporis gravioris extrudens minus grave ex demonstratis ab Archimede in principio eiusdem libri *de insidentibus*.» Al margen: *Johannes Baptista Benedictus in disputationibus contra Aristotelem*. Cf. también *Dialogo*, II, p. 423.

[296] Cf. E. W. Strong, *Procedures and metaphysics*, c. IV, pp. 91 ss.

Advirtamos de paso que aquí no se trata en modo alguno del problema de la certidumbre —ningún aristotélico puso nunca en duda la certidumbre de las demostraciones geométricas—, sino del de la realidad; y que no se trata ni siquiera del empleo de las matemáticas en la ciencia física —ningún aristotélico se negó nunca a medir lo mensurable y a contar lo numerable— sino de su papel en y para la propia estructura de la ciencia; es decir, necesariamente, de la misma realidad.

Al mismo tiempo reconozcamos que la concepción epistemológica —e histórica— de los contemporáneos de Galileo no nos parece desprovista de valor. A decir verdad, nos sentimos plenamente de acuerdo con ellos: el matematismo en física *es* platonismo —incluso si se ignora; por eso, el advenimiento de la ciencia clásica es —visto desde arriba— un regreso a Platón.

Desde el principio el *Dialogo* hace alusión a las discusiones que acabamos de evocar. Desde el principio, Simplicio observa «que en las cosas naturales no hay que buscar siempre la necesidad de la demostración matemática» [297]. A lo que Sagredo, que aparenta no comprender, responde: «Sin duda, allí donde no se puede tenerla; pero si aquí se puede [298], ¿por qué no queréis hacer uso de ella?». En efecto: si en las cosas naturales se puede llegar a una demostración que comporte una necesidad matemática, se haría mal en no seguir hasta allí. Pero, ¿se puede? En eso estriba la cuestión y esto lo sabe bien Galileo, que, al margen, resume la situación —la opinión real del aristotélico— de modo totalmente distinto a como lo hace éste: «En las demostraciones naturales no se debe buscar la exactitud matemática» [299].

No se debe. Porque es imposible. Porque, por sí misma, la realidad física —cualitativa e imprecisa— no se doblega a la rigidez de las nociones matemáticas. Por eso más tarde nos dirá Simplicio que la filosofía, es decir la física, no tiene que preocuparse del detalle y no tiene que buscar la precisión numérica en las leyes del movimiento: tiene que limitarse a establecer sus grandes categorías (natural, violento, rectilíneo, circular) y sus grandes leyes (relación entre fuerza y velocidad, fuerza y resistencia) [300]. ¿Por qué? Simplicio no nos lo dice, lo que sorprende al lector moderno: ¿por qué permanecer en la generalidad abstracta y vaga y no llegar hasta la universalidad exacta y concreta?

---

[297] Véase *Dialogo,* I, p. 38. Cf. p. 256.

[298] La cuestión discutida es la del número de dimensiones del espacio.

[299] *Dialogo,* I, p. 38.

[300] *Dialogo,* II, p. 242.

El lector moderno no lo sabe; pero el lector contemporáneo de Galileo lo completaría por sí mismo: porque no es posible; porque la cualidad y la forma no pueden ser geometrizadas. La materia terrestre no encarna jamás las formas precisas; y las formas no la informan jamás perfectamente; siempre queda «holgura». Sin duda en el cielo no ocurre lo mismo: por eso es posible la astronomía [301]. Pero tampoco la astronomía es la física. No haberlo visto fue justamente la fuente del fracaso de Platón. Querer matematizar la naturaleza no conduce a nada.

La actitud del aristotélico no es en modo alguno ridícula. A nosotros nos parece perfectamente razonable, y las objeciones que Aristóteles dirigió antaño a Platón, irrefutables, a no ser por el hecho. En efecto, no se puede demostrar un posible. El *posse* se prueba siempre por el *esse*. Y para demostrar que es posible establecer leyes matemáticas precisas para lo real, hay que establecerlas realmente. Galileo lo comprende muy bien, y al tratar matemáticamente un problema concreto de la física —el de la caída, o el de la proyeción— va a llevar a Sagredo a decirnos que «es forzoso reconocer que querer tratar cuestiones naturales sin geometría es intentar hacer algo que no se puede hacer» [302].

Sagredo, la *bona mens*, es fácil de convencer. Demasiado fácil. Pero el aristotélico no se encuentra en modo alguno desarmado. Por eso Galileo prosigue [303]: —SALVIATI: «Pero el señor Simplicio no lo dirá, aunque no creo que sea uno de esos peripatéticos que disuaden a sus alumnos del estudio de las matemáticas porque éstas depravan la razón y la hacen menos apta para la contemplación». —SIMPLICIO: «No haré ese reproche a Platón; pero diré, como Aristóteles, que él se sume y se interna demasiado en esta su geometría; porque, finalmente, señor Salviati, todas esas sutilezas matemáticas son verdaderas en abstracto, pero aplicadas a la materia sensible y física, no responden a nada; así, los matemáticos demuestran, según sus principios, que, por ejemplo, *sphaera tangit planum in puncto*, proposición similar a la que se discute ahora [304]; pero cuando se pasa a la materia, las cosas ocurren de modo muy distinto; y es lo que también quiero decir de esos ángulos de contacto y de esas

---

[301] La música, igualmente; la música, que es una ciencia matemática porque obedece a la ley del número. El error de Pitágoras y Platón consistió, por consiguiente, en extrapolar y afirmar la panarquía de lo matemático, sin comprender que lo matemático se detiene —o acaba— allí donde comienza la materia.

[302] *Dialogo*, II, p. 229; cf. III, p. 423.

[303] *Ibid.*

[304] Se trata del estudio de la fuerza centrífuga.

proporciones que cuando se pasa a las cosas materiales y sensibles se convierten en humo».

Merece la pena detenerse un instante en el argumento presentado por Simplicio. Desde el punto de vista del aristotelismo —e incluso del platonismo antiguo— es irrefutable y decisivo. En efecto, en el mundo real —el mundo físico— no existen ni rectas ni planos ni triángulos ni esferas; los cuerpos del mundo material no poseen las formas regulares de la geometría. Así pues, no se les pueden aplicar las leyes geométricas. Sin duda el platónico responderá —como hemos visto hacerlo a Galileo— que las leyes matemáticas son, para la realidad física, leyes *aproximadas*. Cabe sostener esto si se admite —y en la medida en que se admite— que los entes físicos «imitan» y «se aproximan» a los entes geométricos; o sea, si se es ya platónico y si se admite que lo real es matemático en su última esencia; pero esto no es suficiente. Pues no tenemos ninguna posibilidad de determinar el grado de aproximación o, si se prefiere, de separación, entre las formas geométricas y las figuras reales, siendo forzoso establecer la realidad e incluso la necesidad de esa separación, debida a la existencia misma de la materia: ciertamente, lo real no solamente no es regular, es impreciso. Justamente por eso no puede haber más ciencia que la de lo general, y lo individual no puede ser objeto de un conocimiento científico: entre la esencia y su realización hay siempre «holgura»; lo individual se separa siempre de lo normal, y esta separación —que explica la existencia de los *monstra*— nunca es previsible y calculable.

Pues bien, si esto es así, la opinión de esos aristotélicos a los que Galileo-Salviati hacen alusión, y a los que Simplicio conoce bien[305], no es tan ridícula como a primera vista parece. Por el contrario, resulta perfectamente razonable: en efecto, una mente acostumbrada a la precisión y rigidez del razonamiento geométrico ¿no será por ello tanto menos apta para comprender la multiplicidad, matizada e imprecisa[306] de lo real? Tal fue, como se sabe, la opinión de Pascal. Y también la de Leibniz[307].

Veamos ahora la respuesta de Galileo; es de suma importancia e interés, pues aun siendo profundamente platónica no se

---

[305] Cf. *Dialogo*, III, p. 423.

[306] Hay realidades imprecisas; hay conceptos estadísticos. Es tan ridículo querer delimitar *exactamente* la forma de una nube como calcular *exactamente* la población de una ciudad o la temperatura media (con decimales) de una región. Cf. las profundas observaciones de G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, París, 1937, pp. 216 ss. [*La formación del espíritu científico*, B. Aires, Siglo XXI, 1974].

[307] Leibniz, *Carta a Foucher*, hacia 1668. *Philosophische Schriften*, ed. Gerhardt, vol. I, p. 392: «Considero demostrable que no hay figura exacta en los cuerpos.»

limita a reproducir los contraargumentos clásicos, sino que, al contrario, presenta una innovación decisiva: Galileo niega la premisa, común a platónicos y aristotélicos, de la discusión. Niega el carácter «abstracto» de las nociones matemáticas; y niega el privilegio ontológico de las figuras regulares.

Una esfera no es menos esfera porque sea real: sus radios no son por ello desiguales; si no, no sería una esfera. Un plano real —si es un plano— es tan plano como un plano geométrico: si no, no sería un plano[308]. Esto parece evidente. ¿Cómo ha podido negarlo Simplicio? Lo que pasa es que para él la esfera real es imposible; tanto como lo es un plano real. Por el contrario, la objeción galileana implica que lo real y lo geométrico no son en modo alguno heterogéneos y que la forma geométrica puede ser realizada por la materia. Más aún: que siempre lo es. Porque aunque nos fuera imposible hacer un plano perfecto o una esfera cabal, esos objetos materiales que no serían «esfera» o «plano» no estarían por ello privados de forma geométrica. Serían irregulares, pero de ningún modo imprecisos: la piedra más irregular posee una forma geométrica tan precisa como una esfera perfecta; es sólo infinitamente más complicada[309].

La forma geométrica es homogénea con la materia[310]: he aquí por qué las leyes geométricas tienen un valor real y dominan la física. He aquí por qué, como en un pasaje justamente famoso del *Saggiatore* nos dice Galileo, es matemático el lenguaje que habla la naturaleza, lenguaje cuyas letras y sílabas son triángulos, círculos y rectas. Y por esto hay que interrogarla en este lenguaje[311]: la teoría matemática es anterior a la experiencia.

Como es evidente, esta concepción implica una noción completamente nueva de la materia: ya no será soporte del devenir y de la cualidad, sino, por el contrario, soporte del ser inalterable y eterno[312]. Se podría decir que desde ahora la materia

---

308 *Dialogo*, II, p. 233: *«quello che accade in concreto accade nell'istesso modo in astratto»*.

309 Cf. *Dialogo*, pp. 234 ss.

310 Esto es lo que afirma también Kepler; véase *supra*, p. 175, n. 69.

311 *Il Saggiatore*, VI, p. 232: *«La filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezi è impossibile a intenderne unamento parole.»* Cf. *Carta a Liceti*, del 11 de enero de 1641 (*Opere*, XVIII, p. 293).

312 *Discorsi*, I, p. 51: *«E perchè io suppongo, la materia essere inalterabile, cioè sempre l'istessa, è manifesto che di lei, come di affezione eterna e necessaria, si possono produr dimostrazioni non meno dell' altre schiette e pure matematiche.»*

terrestre es elevada al rango de la celeste. Por eso hemos visto cómo la ciencia nueva —física geométrica, geometría física— nace en los cielos para descender a la tierra, y de nuevo subir a los cielos.

Así pues, en la época galileana matematismo significa platonismo. Por eso, cuando Torricelli nos dice que «entre las disciplinas liberales *sólo* la geometría ejercita y aguza la mente, y la capacita para ser ornamento de la ciudad en tiempos de paz y para defenderla durante la guerra», y que, «siendo igual todo lo demás, la mente ejercitada en la gimnasia de la geometría posee una potencia muy particular y *viril*», no sólo muestra con esto ser un auténtico discípulo de Platón, sino que además lo reconoce y proclama [313]. Y al hacerlo, sigue siendo fiel discípulo de su maestro Galileo, quien en su respuesta a las *Ejercitaciones filosóficas* de Antonio Rocco, se dirige a éste pidiéndole que juzgue por sí mismo el valor de los dos métodos, a saber, el puramente físico y el matemático, y añade [314] «y ved al mismo tiempo quién razonaba más justamente, si Platón, que decía que sin matemáticas no se puede aprender filosofía, o Aristóteles, que reprochaba al propio Platón el haber estudiado demasiado la geometría...».

Que Galileo es un platónico es algo que el *Dialogo* tiene bien cuidado de advertirnos desde el principio: en efecto, desde sus primeras páginas Simplicio nos hace ver que Galileo, en cuanto matemático, se muestra probablemente inclinado a mirar con simpatía las especulaciones numéricas de los pitagóricos; y ello para que Galileo-Salviati pueda declarar que no les concede valor alguno [315], y decirnos al mismo tiempo: «Que los pitagóricos tenían en la mayor estima la ciencia de los números, y que el propio Platón admiraba el intelecto humano y lo consideraba

[313] Evangelista Torricelli, *Opera Geometrica*, Florentiae, Typis Amatoris Massae et Laurentii de Landis, 1644, II, p. 7: «Sola enim Geometria inter liberales disciplinas acriter exacuit ingenium, idoneumque reddit ad civitates exornandas in pace et in bello defendendas: caeteris enim paribus, ingenium quod exercitatum sit in Geometrica palestra, peculiare quoddam, et virile robur habere solet: praestabitque semper, et antecellet, circa studia Architecturae, rei bellicae, nauticaeque, etc.»

[314] G. Galilei, *Esercitationi filosofiche di Antonio Rocco (Op.*, VII, p. 744): «*Ridottovi a memoria il detto del Filosofo, che ignorato motu ignoratur natura, guidicate con giusta lanze sig. Rocco, qual de' dua modi di filosofare cammini più a segno, o il vostro, fisico puro e semplice bene, o il mio, condito con qualche spruzzo di matematica; e nell' istesso tempo considerate chi più giustamente discorreva, o Platone, nel dire che senza la matematica non si poteva apprender la filosofia, o Aristotele, nel tassare il medesimo Platone per troppo studio della geometria.*»

[315] *Dialogo*, I, p. 35: al margen: *Misteri de numeri Pitagorici, favolosi.*

partícipe de la divinidad únicamente porque comprendía la naturaleza de los números, lo sé muy bien, y no estoy muy lejos de emitir el mismo juicio»[316].

En efecto, ¿cómo no iba a compartir esta opinión, él que considera que en el conocimiento matemático el intelecto humano alcanza la misma perfección del entendimiento divino? Por boca de Salviati nos dice[317]: «*Extensivo* —es decir, en cuanto a la multitud de los inteligibles, que son infinitos— el entendimiento humano es como nada (aunque comprendiera mil proposiciones, porque mil, con respecto al infinito, es como cero); pero considerando el entendimiento *intensivo*, en tanto que este término significa comprender intensamente, es decir perfectamente, una proposición cualquiera, digo que el intelecto humano no entiende perfectamente ninguna cosa, y de este modo no tiene certeza absoluta sobre ella, en la medida en que no posee su naturaleza, y tales son las ciencias matemáticas puras, o sea la geometría y la aritmética, de las que el intelecto divino conoce una infinidad de proposiciones más [que el hombre], puesto que las conoce todas, pero en lo que respecta a esas cuantas que están en el intelecto humano, creo que por su certeza objetiva su conocimiento llega a igualar al divino, porque llega a comprender la necesidad, por encima de la cual no parece que pueda haber certeza mayor»[318]. —SIMPLICIO: «Eso me parece un lenguaje muy resuelto y osado». —SALVIATI: «Estas son proposiciones comunes y muy alejadas de toda sombra de temeridad u osadía, que en nada disminuyen la majestad de la sabiduría divina, del mismo modo que en nada se disminuye su omnipotencia cuando se dice que Dios no puede hacer que lo que ha sido hecho no sea hecho. Pero pienso, señor Simplicio, que os inquietáis porque habéis acogido mis palabras con cierto equívoco. Por eso, para mejor explicarme, digo que, en cuanto a la verdad de lo que las demostraciones matemáticas dan al conocimiento, es la misma que la que conoce la sabiduría divina; pero os admitiré que la manera en que Dios conoce las proposiciones infinitas de las que nosotros conocemos algunas, es infinitamente superior a la nuestra, la cual procede por el discurso y por la transición de una conclusión a otra allí donde la suya es la de una simple intuición; y allí donde nosotros, por ejemplo, para adquirir la ciencia de ciertas propiedades del círculo —que tiene infinidad de ellas— comenzamos por una de las más sencillas y, fijándola por una

---

[316] *Ibid.*

[317] *Dialogo,* II, pp. 129 ss.

[318] Es casi inútil insistir en el parentesco entre la inspiración de estos textos y los de Descartes.

definición pasamos discursivamente a otra, y de ésta a una tercera y después a una cuarta, etc., el intelecto divino, por la simple aprehensión de su esencia, comprende, sin discursos temporales, toda la infinidad de sus propiedades; las cuales, sin embargo, están virtualmente comprendidas en las definiciones de todas las cosas, y finalmente, aun siendo infinitas, no son quizá más que una sola en su esencia y en el espíritu divino.

»Pero aunque nuestra inteligencia se encuentre como obnubilada por una profunda y densa oscuridad, ésta llega no obstante a dispersarse y aclararse parcialmente cuando nos convertimos en poseedores de algunas conclusiones sólidamente demostradas y tan sólidamente poseídas por nosotros que podemos recorrer rápidamente sus grados [319]. Pues, en suma, ¿qué es, en el triángulo, el hecho de que el cuadrado opuesto al ángulo recto sea igual a los otros dos que le son interiores, si no es el hecho de que los paralelogramos construidos entre las paralelas sobre una base común son iguales entre sí? Y esto, ¿no es finalmente lo mismo que la igualdad de dos superficies que primeramente no habíamos reconocido, pero que percibimos al reducirlas a una sola?

»Ahora bien, estas transiciones que hace nuestro intelecto con el tiempo —y paso a paso—, el intelecto divino, a semejanza de la luz, las supera en un instante, lo que es lo mismo que decir que está siempre presente en todos. Concluyo, pues, por el momento, que nuestro entendimiento, en cuanto al modo y en cuanto a la multiplicidad de las cosas comprendidas, dista un intervalo infinito del intelecto divino. Pero no por ello lo rebajo tanto que lo considere absolutamente nulo. Pues cuando me pongo a considerar cuántas y cuán maravillosas cosas han comprendido, estudiado y hecho los hombres, reconozco de forma muy clara que la mente humana es una obra de Dios, y una de las más excelentes».

Galileo habría podido añadir que el entendimiento humano es una obra tan excelente de Dios que, *ab initio*, está en posesión de estas nociones «claras y distintas», cuya claridad garantiza la *verdad*, y que no tiene sino volverse hacia sí mismo para encontrar en su «memoria» los fundamentos del conocimiento de lo real, el alfabeto, es decir, los elementos del lenguaje —del lenguaje matemático— que habla la naturaleza creada por Dios. Pues, no nos engañemos: no se trata de una verdad puramente inmanente a la razón, de una verdad intrínseca de los razonamientos y las teorías matemáticas, verdad que no resulta afectada por la inexistencia en la naturaleza real de los objetos

[319] Cf. Descartes, *Regulae ad directionem ingenii*, VII, A. T., vol. X, p. 388.

por ella estudiados; ni Galileo ni Descartes habrían consentido jamás en contentarse con tal *ersatz* de verdad y ciencia; se trata de la verdad de la naturaleza, y del conocimiento de lo real. Galileo, buen platónico y platónico consciente, nos dice por boca de Sagredo, a propósito de este conocimiento, del verdadero saber «filosófico», es decir, del saber que tiene por objeto la esencia misma de lo real: «Os digo que si alguien no sabe la verdad por sí mismo es imposible que otro se la haga conocer; bien se pueden enseñar las cosas que no son ni verdaderas ni falsas, pero las verdaderas, es decir las necesarias, aquéllas en las que es imposible que suceda de otro modo, o la mente las sabe de por sí o es imposible que las sepa nunca; y sé que así lo cree también el señor Salviati»[320].

Seguramente. En efecto, las alusiones a Platón, las evocaciones del método socrático —de la mayéutica— del parto de las mentes, las evocaciones de la doctrina de la intelección-reminiscencia no son en modo alguno episodios, florituras literarias salidas de una superficial admiración hacia la obra platónica, admiración que, en sí, no sería sino el reflejo del «platonismo» del Renacimiento florentino. No son tampoco el resultado del deseo de reconciliarse de golpe con el hombre honrado, cansado desde hace tiempo de la aridez de la escolástica aristotélica; del deseo de protegerse, contra la autoridad de Aristóteles, con la de su maestro y principal adversario, el divino Platón. Por el contrario: estas alusiones, estas evocaciones deben ser tomadas muy en serio. Y para que no pueda subsistir ninguna duda a este respecto en la mente del lector, Galileo se lo hace decir[321]:

—SALVIATI: «La solución [de este problema] depende de ciertos conocimientos que no son menos conocidos y creídos por vos que por mí; pero como no los recordáis, no véis la solución. Por lo tanto, sin enseñároslos —porque los conocéis ya—, sino simplemente recordándooslos, haré que vos mismo resolváis el problema».

—SIMPLICIO: «En más de una ocasión me ha llamado la atención vuestra manera de razonar, la cual me ha hecho pensar que os inclináis hacia esa opinión de Platón que *nostrum scire sit quoddam reminisci:* ahora pues, por favor, libradme de esta duda y decidme vuestro parecer». —SALVIATI: «Lo que pienso de la opinión de Platón puedo expresarlo con palabras y con hechos. En los razonamientos que hasta aquí hemos expuesto me he declarado más de una vez con hechos: y aplicaré el mismo método en el estudio particular que tenemos entre manos, estudio

---

[320] *Dialogo,* II, p. 183. Cf. *supra,* pp. 202-203, 216-217, 252.
[321] *Dialogo,* II, p. 217.

que podrá... servirnos de ejemplo para hacer comprender mejor mi concepción de la adquisición de la ciencia...».

El estudio que tenemos entre manos es la deducción de las leyes de la mecánica anteriormente citado. Como vemos, Galileo estima haber hecho mucho más que declararse simplemente partidario de la epistemología platónica. Al aplicar su método, al descubrir las verdaderas leyes de la física, al hacer que las descubran Sagredo y Simplicio, es decir, *el lector*, Galileo estima haber demostrado de hecho la verdad del platonismo. El *Dialogo* y los *Discorsi* presentan la historia de una experiencia intelectual; de una experiencia concluyente, porque termina con el reconocimiento-arrepentimiento de Simplicio: reconocimiento de la necesidad del estudio de las matemáticas, y arrepentimiento por no haberlo hecho[322]. El *Dialogo* y los *Discorsi* nos ofrecen la historia del descubrimiento, o mejor dicho, del redescubrimiento del lenguaje que habla la naturaleza, y nos exponen la forma en que hay que plantearle las preguntas: la teoría de la verdadera experiencia, donde la formulación de los «postulados» y la deducción de sus consecuencias son anteriores al recurso a la observación[323]. Esto es también la prueba por el hecho: una prueba experimental del platonismo.

Partiendo de ahí se comprende el profundo sentido de ese hermoso pasaje de Cavalieri[324]: «Ahora bien, en lo que concierne al conocimiento de las ciencias matemáticas que las famosas escuelas de los pitagóricos y de los platónicos consideran en extremo necesarias para la comprensión de las cosas físicas, espero que pronto, con la publicación de la nueva doctrina del movimiento, prometida por el maravilloso Experimentador de la Naturaleza, quiero decir, por el señor Galileo, en sus *Dialogos* [el

---

[322] *Dialogo*, II, p. 333; *Discorsi e Dimostrazioni*, IV, pp. 269 ss.

[323] Cf. *Discorsi e Dimostrazioni*, III, p. 212.

[324] Bonaventura Cavalieri, *Lo speccio ustorio overo trattato delle settioni coniche e alcuni loro mirabili effetti intorno al lume, caldo, freddo, suono e moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632, pp. 152 ss.: «*Ma quanto vi aggiunza la cognitione delle scienze Mathematiche, giudicate da quelle famosissime scuole de'Pithagorici, e de'Platonici, sommamente necessarie per intender le cose Fisiche, spero in breve sarà manifesto, per la nuova dottrina del moto promessaci dall'esquisitissimo Saggiatore della Natura, dico dal Sig. Galileo Galilei, ne'suoi Dialogi, protestando io haver'hauuto e motivo e lume ancora in parte intorno à quel poco, ch'io dico del moto in questo mio Trattato, per quanto alle settioni coniche si aspetta, da i sottilissimi discorsi di quello, e del Reverendiss. P. Abbate D. Benedetto Casteli Monaco Cassinenze, Matem. di N. S. e molto intendente di queste materie, ambidue miei Maestri. Rimetto dunque il Lettore in ció, ch'io supporó al dottiss. libro, che da si grand'ingegno in breve dourà porsi in luce, e si contenterà di questo poco, ch'io diró per manifestare, che cosa habbino che fare le Settioni Coniche con cosi alto, e cosi nobile soggetto.*»

papel de las matemáticas], quedará plenamente de manifiesto».

En efecto, el matematismo platónico había chocado con un doble escollo: primero con la cualidad, pero también con el movimiento. A la tentativa de matematizar la naturaleza, Aristóteles oponía la imposibilidad de matematizar la cualidad; y de deducir el movimiento [325]. No hay movimiento en el número. Los entes matemáticos no se mueven. ¿Cómo iban a hacerlo siendo como son eternos e intemporales? [326]. Y el aristotélico de la época galileana podía añadir que el mayor de los platónicos, el divino Arquímedes, no pudo hacer más que una estática, matematizar el reposo, pero no el movimiento. Ahora bien, como sabemos, *ignoto motu ignoratur natura*. Por eso la física matemática, la física platónica, se quedó en un *pium desiderium* que nadie intentó siquiera realizar.

Con toda seguridad. Pero he aquí —y ahora podremos comprender todo el orgullo del platónico Galileo— [327] que «del asun-

---

[325] Esta última objeción es, con mucho, la más importante. Pues aunque el platonismo galileano y cartesiano se muestra incapaz de explicar la cualidad, puede abandonarla, atribuyéndola a la subjetividad. Pero el movimiento no se puede subjetivar.

[326] Cf. F. Bonamico, *De motu*, l. I, cap. XI; *Jurene mathematicae ex ordine scientiarum expurgantur*, p. 56. «... Itaque veluti ministrae sunt mathematicae, nec honore dignae, et habitae προπαιδεία, id est, apparatus quidam ad alias disciplinas. Ob eamque potissime caussam, quod de bono mentionem facere non videntur. Etenim omne bonum est unis, is vero cuiusdam actus est. Omnis vero actus est cum motu. Mathematicae autem motum non respiciunt. Haec nostri addunt. Omnem scientiam ex propriis effici: propria vero sunt necessaria quae quatenus ipsum et per se insunt. Atqui talia principia mathematicae non habent... Nullum caussae genus accipit... propterea quod omnes caussae definiuntur per motum: efficiens enim est principium motus, finis cuius gratia motus est, forma et materia sunt naturae; et motus igitur principia sint necesse est. At vero mathematica sunt immobilia. Et nullum igitur caussae genus existit.»

[327] *Dialogo*, II, p. 248: Salv. ... *il movimento de i gravi descendenti non e uniforme, ma partendosi dalla quiete vanno continuamente accelerandosi; effeto conosciuto ed osservato da tutti... Ma questa general cognizione è di niun profitto, quando non si sappia secondo qual proporzione sia fatto questo acrescimento di velocità, conclusione stata sino a i tempi nostri ignota a tutti i filosofi, e premieramente ritrovata e dimostrata dall'Academico, nostro commun amico: il quale, in alcuni suoi scritti non ancor pubblicati, ma in confidenza mostrati a me ed ad alcuni altri amici suoi, dimostra come l'accelerazione del moto retto dei gravi si fa secondo i numeri impari* ab unitate, *cioè che segnati quali e quanti si voglino tempi eguali, se nel primo tempo, partendosi il mobile dalla quiete, averà passato un tale spazio, come, per esempio, una canna, nel secondo tempo passerà tre canne, nel terzo cinque, nel quarto sette, e così conseguentemente secondo i succedenti numeri caffi; che in somma è l'istesso che il dire che gli spazii passati dal mobile, partendosi dalla quiete, hanno tra di loro proporzione duplicata di quella che hanno i tempi ne' quali tali spazii son misurati, o vogliam dire che gli spazii passati son tra di loro come i quadrati de' tempi.*—Sagr. *Mirabil cosa sento dire. E di questo dite esserne dimostrazione matematica?*—Salv. *Mate-*

to más viejo vamos a promover una ciencia totalmente nueva. Quizá no haya nada más antiguo en la Naturaleza que el *movimiento*, sobre el que se hallan innumerables y gruesos volúmenes escritos por filósofos; y no obstante sus accidentes, que son muchos y dignos de ser conocidos, hasta ahora no han sido observados ni deducidos. Se han señalado las cosas más fáciles, como, por ejemplo, que el movimiento natural de los graves se acelera continuamente, pero hasta ahora no se ha sabido conforme a qué *proporción* se realiza esa aceleración; pues, que yo sepa, nadie ha demostrado que *los espacios recorridos en tiempos iguales por el móvil que desciende a partir del reposo guardan entre sí la misma proporción que los números impares que se suceden a partir de la unidad*».

El movimiento obedece a una ley matemática. El tiempo y el espacio están ligados por la ley del número. El descubrimiento galileano transforma en victoria el fracaso del platonismo. Su ciencia es el desquite de Platón.

Desquite incompleto, con toda seguridad. Y parcial. Pues, como hemos dicho en otra parte, no es Galileo sino Descartes quien asegura la definitiva victoria del platonismo y desaloja al aristotelismo de las posiciones que había ocupado durante tanto tiempo [328].

Por lo demás, Descartes no aceptaría probablemente nuestro modo de ver, y se negaría a reconocerse discípulo de Platón [329]. En lo cual, además, no estaría del todo equivocado. Y no

---

matica purissima, e non solamente di questa, ma di molte altre bellissimi passioni attenenti a i moti naturali e a i proietti ancora»; *Discorsi e Dimostrazioni*, III, p. 190. *De motu locali:* «De subiecto vetustissimo novissimam promovemus scientiam. Motu nil forte antiquius in natura et circa eum volumina nec pauca nec parva a philosophis conscripta reperiuntur; symptomatum tamen, quae complura et scitu digna insunt in eo, adhuc inobservata, necdum indemonstrata, comperio. Leviora quaedam adnotantur, ut, gratia exempli, naturalem motum gravium descendentium continue accelerari; verum, juxta quam proportionem eius fiat acceleratio, proditum hucusque non est: nullus enim, quod sciam, demonstravit, spatia a mobile descendente ex quiete peracta in temporibus aequalibus, eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes. Observatum est, missilia, seu proiecta, lineam qualitercunque curvam designare; verumtamem, eam esse parabolam, nemo prodidit. Haec ita esse, et alia non pauca nec minus scitu digna, a me demonstrabuntur, et, quod pluris faciendum censeo, aditus et accessus ad amplissiman praestantissimamque scientiam, cuius hi nostri labores erunt elementa, recludetur, in qua ingenia meo perspicaciora abditiores recessus penetrabunt.»

[328] Cf. nuestra comunicación *(Galilée et Descartes)* en el *IX Congrès international de Philosophie*, II, p. 41, París, 1937.

[329] Las concepciones de Descartes en materia de historia de la filosofía no coinciden siempre con las nuestras. Cf. *Principes*, Prefacio, A. T., vol. IX, p. 5: «Los primeros y los principiales de los cuales tengamos escritos son

obstante, ¿qué es el innatismo cartesiano sino un resultado lejano de la reminiscencia platónica? ¿No nos lleva la extensión cartesiana a la χώρα de Platón? [330]. ¿No es la misma su idea de la ciencia? Y en el famoso y justamente célebre pasaje del *Discurso* donde Descartes rechaza la concepción escolástica de las matemáticas —ciencia que no sirve más que a las artes mecánicas— [331] ¿no se suma con ello a la tradición platonizante llegada hasta él a través de Clavius? [332]. Y finalmente, desde el punto de vista que aquí nos interesa, al proclamar el predominio de las matemáticas en la física, e incluso la posibilidad de reducir ésta a aquéllas [333], ¿no se coloca, de golpe, en el campo de los platónicos?

Pero también, este nuevo platonismo, ¡qué lejos está del antiguo! Pues, en realidad, si gracias a Descartes podemos en adelante comprender el espacio mediante un acto de la inteligencia pura y no mediante un conocimiento espurio y de este modo reemplazar el mito por la ciencia, si gracias a Galileo el movimiento se encuentra en adelante sometido a la ley del número, en cambio ese espacio y ese número pierden el valor cósmico que tenían, que podían tener para Platón.

La ciencia galileana, la ciencia cartesiana, ha vencido. Pero nunca una victoria se pagó tan cara.

Platón y Aristóteles, entre los que no hubo otra diferencia, sino que el primero, siguiendo las huellas de su maestro Sócrates, confesó ingenuamente que no había podido encontrar aún nada seguro, y se contentó con escribir cosas que le parecieron verosímiles, imaginando a este efecto algunos principios mediante los cuales trató de explicar otras cosas; mientras que Aristóteles tuvo menos franqueza, y aunque fue veinte años su discípulo y no tuvo más principios que los suyos, cambió enteramente el modo de exponerlos y los propuso como verdaderos y seguros, aunque no haya ninguna apariencia de que nunca los considerara como tales.»

[330] Cf. G. Milhaud, *Les philosophes-géomètres de la Grèce*, París, 1900, p. 292; y L. Robin, *Platon*, París, 1935, p. 234.

[331] *Discours de la méthode*, A. T., vol. VI, p. 7.

[332] Cf. Ch. Clavius, S. J., *Opera mathematica*, Maguntiae, 1611, t. I, *Prolegomena*, p. 5: «Cum igitur disciplinae mathematicae veritatem adeo expetant, adament, excolantque, ut non solum nihil quod sit falsum, verum etiam nihil quod tantum probabile existat, nihil denique admittant quod certissimis demonstrationibus non confirment, corroborentque, dubium esse non potest quin eis primus locus inter alias scientias omnes sit concedendum.» Citado por E. Gilson, *Discours de la méthode, texte et commentaire*, p. 128, París, 1925.

[333] Descartes, *Carta a Mersenne* del 11 de marzo de 1640, A. T., vol. III, pp. 39 ss. ... «En cuanto a la física, creería no saber nada de ella si sólo supiera decir cómo pueden ser las cosas, sin demostrar que no pueden ser de otro modo; porque habiéndola reducido a las leyes de la matemática, es cosa posible, y creo poderlo en todo lo poco que creo saber, aunque no lo haya hecho en mis Ensayos, a causa de que no he querido dar allí mis Principios, y no veo todavía nada que me invite a darlos en el futuro.»

APENDICE

LA ELIMINACION DE LA PESANTEZ

A) LOS GALILEANOS

Ahora se plantea un problema, problema que hemos evocado al comienzo mismo de este estudio: si —como creemos haber demostrado— Galileo no formuló el principio de inercia, ¿cómo es que sus sucesores y discípulos pudieron creer encontrarlo en su obra? Además, si como también pensamos haber demostrado, Galileo no sólo no concibió, sino que ni siquiera pudo concebir el movimiento inercial en línea recta, ¿cómo es, o mejor dicho, cómo fue que esta concepción, ante la cual se detuvo la mente de un Galileo, pudo parecer fácil, evidente, obvia, a sus discípulos y sucesores?

A nuestro parecer, esta última pregunta se impone a la primera. Pues fue justamente porque la concepción del movimiento inercial, es decir, del movimiento eterno en línea recta, les parecía evidente y clara por lo que los discípulos y sucesores de Galileo —seguidos en esto por muchos historiadores— creyeron verla expresada y afirmada en la obra de su maestro. Ahora bien, digámoslo de una vez: si pudo parecérselo, si, rebasando a Galileo en el camino que lleva a la geometrización del espacio y a la matematización de lo real, pudieron, casi sin advertirlo, liberarse del último lazo, del lazo de la pesantez, que ataba a Galileo al suelo de la física, y volar libremente por el cielo de los entes matemáticos, se lo debieron a Galileo, al ejemplo galileano, a la enseñanza galileana, a la educación galileana. Por eso no anduvieron del todo descaminados al atribuir a Galileo un descubrimiento que no había hecho, y al encontrar en su obra lo que sin duda no estaba allí expresamente, pero sí «en germen».

Mas precisemos. Y para ello, demos la palabra a los propios galileanos.

a) *Cavalieri*

El *Speccio ustorio* de Cavalieri es de 1632.El año del *Dialogo.* Y, sin embargo, ¡qué diferencia de estilo! Si se fechara por criterios internos, se le creería escrito veinte años más tarde. Como se ha visto, el libro de Galileo era un libro de polémica y combate. El libro de Cavalieri no es más que un libro de ciencia. Se nota que para Cavalieri la gran batalla galileana pertenece al pasado. Y la victoria galileana es hasta tal punto total que ya no se habla de ella. El gran problema filosófico: Platón o Aristóteles, matemática o experiencia sensible, está ya resuelto. Ni que decir tiene que la física es una matemática y que el paso del estudio —puramente geométrico— de las curvas y de las secciones cónicas al de sus «efectos» en la realidad física se hace sin tropiezos. Apenas se insiste. Por eso, el estudio de los movimientos, movimiento de la caída, movimiento del lanzamiento, se concibe, de entrada, como un estudio matemático; los cuerpos que Cavalieri pone en movimiento, son, desde ahora, cuerpos matemáticos.

Sin duda son «graves». Sin duda Cavalieri nos habla de la «gravedad interna» de los cuerpos. Pero esta gravedad interna —que no se puede dejar de admitir— ya no se concibe como algo inseparable del cuerpo físico. Aunque todavía la llame «interna», para Cavalieri la gravedad se ha exteriorizado totalmente. Y por este mismo hecho desaparece definitivamente de su pensamiento toda distinción entre movimiento «natural» y «violento».

Pero escuchemos a Cavalieri [334]: «Aunque en lo que concierne

---

[334] B. Cavalieri, *Lo speccio ustorio overo trattato delle settioni coniche et alcuni olro mirabili effetti intorno al lume, caldo, freddo, suono e moto ancora,* Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632, cap. XXXIX, p. 153: «*Del movimento de' corpi gravi. Benche intorno à' corpi gravi diversissime' cose si potessero considerare, tutte belle, et tutte curiose, però non cercaremo altro, se non che forte di linea sia quella, per la quale si move esso grave, mercè prima dell'interna gravità, poi del proiciente, e finalmente dell'uno et dell'altro accoppiati insieme, per vedere, se vi havessero che fare le Settioni Coniche, et quali siano quando ciò sia vero.*

Dico adunque, se noi consideraremo il moto del grave fatto per la sola interna gravità, in qualcunque modo poi ella si operi, che quello sarà sempre indrizzato verso il centro universale delle cose gravi, ciò è verso il centro della terra, et universalmente conspirare tutti i gravi à questo centro, poiche si veggono in tutti i luoghi della superficie terrestre scendere non impediti a perpendicolo sopra l'Orizonte...

Dico piu oltre, che considerato il mobile che da un proiciente viene spinto verso alcuna parte, se non havesse altra virtù motrice, che lo cacciasse verso un'altre banda, andarebbe nel luogo segnato dal proiciente per dritta

a los cuerpos graves puedan hacerse consideraciones muy diversas, todas bellas y todas curiosas, sin embargo no trataremos sino de determinar cuál es la naturaleza de la línea por la que se mueve el grave, en primer lugar movido por la gravedad interna, después por el lanzador y finalmente por uno y otro juntos, a fin de ver si las secciones cónicas tienen algo que hacer aquí, y en tal caso, cuáles serían.

»Digo, pues, que si consideramos que el movimiento del grave es sólo debido a la gravedad interna —de cualquier manera que ésta actúe— éste estará siempre dirigido hacia el centro universal de las cosas graves[335], es decir, hacia el centro de la tierra, y todos los graves se dirigirán universalmente hacia ese centro...

»Seguidamente digo que si se considera un móvil arrojado por el lanzador hacia un blanco cualquiera, y si no hubiera ninguna otra virtud motriz que tirara de él en otra dirección, iría en línea recta al lugar asignado por el lanzador, movido únicamente por la virtud que le fue impresa en línea recta; y no es razonable que el móvil se separe de esa rectitud, ya que no hay otra virtud motriz que lo desvíe; así, por ejemplo, una bala de cañón salida de la boca de la pieza, si no poseyera más [virtud motriz] que aquélla que le es impresa por el disparo, iría desde el punto del tiro recta hacia el blanco situado en la prolongación del eje del cañón, pero como existe otro motor, a saber la gravedad interna de la bala, se deduce que será forzada a desviarse de esta rectitud para acercarse al centro de la tierra».

De modo que si la gravedad interna no tirara de la bala de cañón hacia el centro de la tierra, su movimiento se efectuaría en línea recta. A primera vista parece que no hay nada nuevo ni notable en esta aserción de Cavalieri. En efecto, siempre se ha dicho que los movimientos violentos se efectúan en línea recta: ¿no se ha creído incluso que realmente se efectúan de esa manera y no se ha creído que al dejar la boca del cañón la bala se movía al principio en línea recta? ¿Y no consiste, justamente, uno de los grandes descubrimientos de Galileo en reconocer que

---

linea, mercè della virtù impressali pur per dritta linea, dalla quale drittura non è ragionevole, che il mobile si discosti, mentre non vi è altra virtù motrice, che ne lo rimova, e ciò quando fra li duoi termini non sia impedimento; come per essempio una palla d'Artiglieria uscita dalla bocca del pezzo, se non havesse altro, che la virtù impressali dal fuoco, andarebbe à dare di punto in bianco nel segno posto à drittura della canna, ma perche vi è un altro motore, che è l'interna gravità di essa palla, quindi avvienne, che da tal drittura sia quella sforzata deviare, accostandosi al centro della terra.»

[335] El centro universal de las cosas graves reemplaza al centro del mundo de Aristóteles.

la trayectoria del proyectil se curva desde el primer instante del lanzamiento? Cavalieri lo sabe muy bien. Pero prestemos atención. Esto no le impide en modo alguno imaginar una bala de cañón *privada de pesantez*, no sometida a la fuerza de la gravedad, que se mueve *únicamente* bajo la influencia del disparo. Para él esta hipótesis no tiene nada de absurdo ni aun de imposible. La gravedad interna actúa sobre la bala de cañón como cualquier otra fuerza —salvo que actúa constantemente, que es una *fuerza constante*— y se puede hacer abstracción de ella como de cualquier otra fuerza.

Por eso prosigue Cavalieri [336]: «Digo además que ese proyectil no sólo iría en línea recta hacia su blanco, sino que, en tiempos iguales, atravesaría espacios iguales de dicha línea, con tal de que el móvil fuese indiferente [a la dirección del movimiento] y con tal, también, de que el medio no le presentase ninguna resistencia, puesto que no tendría ninguna causa de deceleración ni de aceleración». Si se piensa en el esfuerzo del pensamiento galileano por superar la concepción de la virtud impresa = causa del movimiento, en los largos y laboriosos razonamientos con los que trató de convencernos de la uniformidad del movimiento de un grave en el *plano horizontal*, se paladeará y apreciará en su justo valor la concisión del razonamiento de Cavalieri, razonamiento de un hombre para el que desde hace tiempo el movimiento se ha solidificado en un ente actual que persiste por sí mismo y es igual a sí mismo siempre que nada lo destruya o modifique. Y se comprenderá, que *habiendo llegado la gravedad a ser para él una fuerza separable*, este movimiento uniforme *se prosiga en línea recta* y no en círculo. «Así [337], el grave movido por la [sola] gravedad interna no irá sino hacia el centro de la tierra, mientras que aquél que sea movido por una virtud impresa podrá avanzar en cualquier dirección.» Aquí, de nuevo, la diferencia con Galileo, y, digámoslo francamente, el avance con respecto a Galileo se hace patente: para obligar a esos graves a moverse «en cualquier dirección» Galileo, incluso en la época de los *Discorsi*, tenía que sostenerlos con un plano imaginario, a fin de neutralizar la inevitable acción de la pesantez. En Cavalieri no hay nada de esto: para

---

336 *Ibid.*, p. 155: *«Dico ancora, che quel proietto non solo andarebbe per dritta linea nel segno opposto, ma che in tempi eguali passarebbe pur spatij eguali della medesima linea, mentre que i mobile fosse a tal moto indifferente; e mentre ancora il mezzo non li facesse qualche resistenza, poiche non ci farebbe causa di ritardarsi, ne di accelerarsi.»*

337 *Ibid.: «si che il grave, mercè della interna gravità, non anderà se non verso il centro della terra, ma quello, mercè della virtù impressali, potrà incaminarsi verso ogni banda.»*

excluir la acción de la gravedad «interna» basta simplemente con hacer abstracción de ella. Y para estudiar el movimiento concreto del obús basta con hacer que actúen simultáneamente sobre él las dos fuerzas —la del lanzamiento y la de la gravedad—, y con calcular el resultado sumando simplemente los efectos «parciales» de una y de otra, tomadas aisadamente, puesto que es *evidente* que estas dos fuerzas, es decir, estos dos movimientos, no tienen ninguna influencia el uno sobre el otro.

Y ahora[338], «si en el proyectil hay dos virtudes motrices, es decir, la gravedad y la virtud impresa, cada una de ellas separadamente haría avanzar al móvil en línea recta, como queda dicho; pero acopladas juntas no la harán ir en línea recta, salvo en estos dos casos: 1.º, si, por la virtud impresa, el grave es lanzado perpendicularmente al horizonte; 2.º, si no solamente la virtud impresa sino también la gravedad mueven al grave uniformemente, porque los acercamientos al centro de la tierra, hechos en tiempos iguales... serían siempre iguales, como también lo serían los espacios recorridos en esos mismos tiempos por el grave a lo largo de la línea del lanzamiento; de este modo, el móvil estaría siempre en la misma línea recta. Pero si uno de los dos [movimientos] no fuera uniforme, entonces el móvil lanzado por la virtud impresa y por la gravedad no se movería

---

[338] *Ibid.*: «*Essendo due adunque nel proietto le virtù motrici, l'una la gravità, l'altra la virtù impresa, ciascuna li loro separatamente farebbe ben caminare il mobile per linea retta, come si è detto, ma accopiare insieme non la faranno andare per linea retta, se non in questi due casi, nel primo, quando dallo virtù impressa sia spinto il grave per la perpendicolare all' Orizonte; il secondo, quando non solo la virtù impressa ma anco la gravità mova il grave uniformemente, perche gli accostamenti fatti in tempi eguali al centro della terra, partendosi da una retta linea, sariano sempre eguali, come anco li spatii decorsi ne medesimi tempi dell' istessa linea, per la quale viene spinto esso grave; e perciò il mobile farebbe sempre nella medesima linea retta. Ma quando uno de' duoi non fosse uniforme, allhora non caminarebbe il mobile spinto dalla gravità, e dalla virtù impressa, altrimente per linea retta, ma si bene per una curva, la cui qualità e conditione dipenderebbe dalla detta uniformità, e difformità di moto accoppiate insieme. Hora nel grave, che, spiccandosi dal proiciente, viene indrizzato verso qual si sia parte, per essempio, mosso per una linea elevata sopro l'Orizonte, vi è bene la gravità, che opera, ma quella non fà altro, che ritirare il mobile dalla drittura della sudetta linea elevata, non havendo che far niente con l'altro moto, se non per quanto viene il grave allontanato dal centro della terra, astraendo adunque nel grave la inclinatione al centro di quella, come anco ad altro luogo, egli resta indifferente al moto conferitoli dal proiciente, e perciò se non ci fosse l'impedimento dell'ambiente, quello sarebbe uniforme: ragionevolmente adunque si potrà supporre, che i gravi spinti dal proiciente verso qualunque parte, mercè della virtù impressa, caminino uniformemente, non havendo risguardo all'impedimento dell'aria, che per esser tenuissima, e fluidissima, per qualche notabile spatio, può esser, chei, i permetta la sudetta uniformità.*»

por una línea recta, sino por una curva cuya cualidad y condición dependerían de la uniformidad y disformidad respectivas de los movimientos acoplados juntos. Pues en el grave que, empujado por el lanzador, se dirige en cualquier dirección, digamos que movido por una línea elevada sobre el horizonte, existe gravedad que actúa, pero ésta no hace sino retirar al móvil de la rectitud de dicha línea, no teniendo nada que ver con el otro movimiento, salvo en tanto que el grave se aleja del centro de la tierra, mientras que ella imprime al grave una inclinación hacia el centro de ésta, como hacia cualquier otro lugar. Por eso [el movimiento resultante de la gravedad o por ella producido] permanece indiferente al movimiento conferido al grave por el lanzador y, si no hubiera impedimento del medio, éste sería uniforme».

No es necesario subrayar la igualdad del tratamiento que se da al movimiento del lanzamiento y al de la caída, igualdad que llega hasta el empleo del mismo término para ambos; bien se ve que para Cavalieri todos los movimientos son de la misma naturaleza y que la distinción entre «violentos» y «naturales» no es ya sino una cuestión de terminología. Por lo demás, nos lo dice *expressis verbis*[339]: «Queda por reflexionar sobre el acercamiento al centro de la tierra del grave movido por la gravedad interna, que se llama movimiento natural; y sobre el alejamiento de ese centro, a consecuencia del impulso conferido al móvil, que se llama movimiento violento. El grave que parte del reposo y se mueve hacia el centro, se mueve acelerándose continuamente a medida que se acerca al centro, o mejor dicho, a medida que se aleja de su punto de partida[340], y el [movimiento] violento, es decir, aquél que parte del centro, va disminuyendo continuamente». Pues bien, si este hecho fue siempre conocido de los filósofos, sólo Galileo, en su *Dialogo*, determinó la exacta proporción de la aceleración y la deceleración, lo que, a su vez, permite a Cavalieri demostrar, utilizando en su de-

[339] *Ibid.*, p. 157: *«Resta hora, che facciamo riflessione all'accostamento del grave, fatto al centro della terra mercè dell' interna gravità, che vien detto moto naturale, e al discostamento da quello, per l'impulso conferitoli, che si chiama moto violento; che il grave, che si parte dalla quiete, e si move al centro, si vada sempre velocitando, quanto più si accosta al centro, o per dir meglio, quanto più si allontana del suo principio, e che il violento, o dal centro si vada sempre ritardando, ciò è stato saputo da tutti i Filosofi ancora, ma con qual proportione s'acceleri il moto naturale, et si ritardi il violento, ce lo insegna nouvamente e singolarmente il Sig. Galileo ne' suoi Dialogi alla p. 217, dicendo esser l'incremento della velocità, secondo il progresso de' numeri dispari continuati dall' unità.»*

[340] Observemos la persistencia de la fórmula. Cf. *supra*, pp. 79-80.

ducción el método de cálculo por él inventado, que la trayectoria de todo cuerpo proyectado en cualquier dirección es una sección cónica e incluso una parábola[341].

Probablemente el lector moderno se sentirá decepcionado. Quizá incluso nos acuse de ser víctimas de la ilusión óptica que en ocasiones hemos reprochado a ciertos historiadores de Galileo. Quizá nos diga que si Cavalieri hubiera realmente llegado a la concepción del principio de inercia lo habría presentado como tal, como una ley fundamental de la naturaleza, como un axioma fundamental de la mecánica, como lo hicieron Descartes y Newton. No se habría limitado a formular de pasada algo donde *nosotros* vemos una expresión del principio de inercia, pero donde nadie, *ni siquiera Galileo,* pudo reconocerlo. Después de todo, es posible. Es posible que el propio Cavalieri no comprendiera el alcance de su fórmula —en efecto, no dice que el movimiento, una vez comenzado, se prolongará *indefinidamente—;* y es cierto que Galileo, que leyó el *Speccio ustorio,* no sacó provecho de él, y que en sus *Discorsi* formuló el principio de la persistencia del movimiento con las restricciones conocidas. Es posible que en él no viera más que un efecto, o un ejemplo, de una matematización a ultranza, tal como él mismo la había esbozado en el *Dialogo.* Es posible también que el propio Cavalieri no viera en él ninguna otra cosa.

Objetivamente, la fórmula de Cavalieri contiene el principio de inercia. ¿Lo contendría subjetivamente? Se puede poner en duda. Incluso se debe hacerlo.

Ahora bien, este mismo hecho, el hecho de que Cavalieri nos haya dejado en esta incertidumbre a propósito de su pensamiento real, el hecho de que, en cualquier caso, no supiera dar al principio de inercia el lugar y el alcance que le corresponden, aclara el papel y la importancia de la obra cartesiana. Pues lo que acabamos de decir de Cavalieri podría decirse, con ciertos atenuantes no obstante, de Torricelli.

b) *Torricelli*

Pues Torricelli tampoco enuncia el principio de inercia *como un principio.* Al igual que Cavalieri, lo formula en cierto modo de pasada, con ocasión del estudio del lanzamiento. «Supongamos que el móvil es proyectado a partir del punto *a* —nos dice— en cualquier dirección elevada (sobre el horizonte), AB. *Está*

[341] *Ibid.,* pp. 161 ss.

claro que sin la tracción *de la gravedad el móvil procedería con un movimiento rectilíneo y uniforme siguiendo la línea de dirección* AB»[342].

Es curioso comprobar la transformación de la mentalidad científica desde Galileo, e incluso desde Cavalieri. *Está claro que...:* he aquí todo lo que Torricelli considera necesario decir para introducir el principio de inercia. Pero, al igual que con respecto a Cavalieri, cabría preguntarse: ¿es éste, en verdad, el principio de inercia? Después de todo, Galileo sabía perfectamente que si la gravedad no tirara de los cuerpos hacia abajo, éstos se moverían, incluso indefinidamente, siguiendo una línea recta. Pero también sabía que esto no ocurre ni puede ocurrir jamás. También lo sabe Torricelli. Por eso prosigue: «Pero al actuar interiormente la gravedad interna, el móvil comienza de inmediato a declinar de la dirección del lanzamiento, y al crecer sin cesar la medida de la desviación describirá una cierta línea curva». Aquí de nuevo se puede admirar el estilo de Torricelli: es inútil perder el tiempo en demostraciones de la independencia de los movimientos; para los lectores de Torricelli —salidos de la escuela galileana— es tan evidente como su conservación. Pero de nuevo hay que preguntarse aquí: ¿hay en Torricelli algo que no hayamos visto ya en Galileo? Ese «está claro», ¿designa algo más que un caso, no sólo irreal, sino físicamente imposible? O, si se prefiere, ¿se detendrá Torricelli ante esta imposibilidad física como se había detenido su maestro Galileo, o no la tendrá en cuenta, como hizo Cavalieri? En realidad, no hará ninguna de las dos cosas. Pero, tras haber reflexionado profundamente sobre la estructura de la ciencia física, sobre las condiciones de aplicación de la geometría a la física, sobre la propia esencia del «método resolutivo» o, para llamarlo, en fin, por su verdadero nombre, de la διαίρησιζ, que ve en acción en Galileo y Kepler, Torricelli reconoce la imposibilidad física de los movimientos estudiados por la mecánica racional, pero reivindica para el geómetra el derecho a llevar su análisis de lo real hasta el fin, es decir, hasta lo irreal, e incluso hasta lo imposible.

Como todos los galileanos, como el propio Galileo, Torricelli es un arquimediano[343]. «Entre todos los trabajos que se refieren

[342] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica,* Florentiae, 1644, *De motu proyectorum,* l. II, p. 156. El subrayado es nuestro.

[343] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica,* Florentiae, Typis Amatoris Massae et Laurentii de Landis, 1644. *Proemium:* «Inter omnia opera ad Mathematicas disciplinas pertinentia, iure optimo Principem sibi locum vindicare videntur Archimedis inventa; quae quidem ipso subtilitatis miraculo terrent animos.»

a las disciplinas matemáticas —nos dice— parece que el primer lugar puede ser reivindicado por los descubrimientos de Arquímedes, que confunden a las almas por el milagro de su sutilidad.» Ahora bien, mientras que el genio matemático de Arquímedes es reconocido por todo el mundo, la ciencia por él fundada, es decir la mecánica —podríamos decir incluso, permaneciendo fieles al sentido, si no a los términos de Torricelli: la física matemática—, es acusada de estar basada en dos proposiciones falsas[344]. Ciertamente, Arquímedes admite como verdaderas, o supone que lo son, dos cosas manifiestamente falsas, a saber: «1) *que las superficies que no tienen gravedad la poseen a pesar de todo*, y 2) *que los hilos de los que están suspendidos los pesos en la balanza son equidistantes, aunque en realidad deban cruzarse en el centro de la Tierra.* En cuanto a mí —prosigue Torricelli— soy de la opinión de que o bien ninguno de estos supuestos es falso, o bien todos los demás principios de la geometría lo son igualmente y de la misma manera. Pues es falso que el círculo tenga un centro, la esfera una superficie y el cono solidez. Y hablo de las figuras abstractas, de las que suele estudiar la geometría, y no de las figuras físicas y concretas. Habrá, pues, que admitir que el centro del círculo, la superficie de la esfera, la solidez del cono y otras cosas de este género no sujetas a controversia, no tengan más existencia que la que reciben del intelecto y de la definición. Por eso la gravedad se encuentra en las figuras geométricas absolutamente de la misma manera en que en ellas están el centro, la superficie, el perímetro, la solidez, etc.». Como puede apreciarse, para Torricelli la mecánica simplemente forma parte de la geometría. No se trata de estudiar fenómenos del mundo físico, los movimientos de los

---

[344] Evangelistae Torricellii, *Opera Geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, 1644, *proemium*, p. 8: «Veniamus ab objectiones quae circa artis fundamenta versantur. Indignor equidem Lucam Valerium, vere nostri saeculi Archimedem, cum optimam causam suscepisset, pessima defensione usum fuisse. Solent ab eruditis culpari figurarum Geometricarum dimensiones, quae Mechanicis fundamentis innixae stabiliuntur, tamquam duplex falsum supponant: alterum *quod superficies gravitatem non habentes habere tamen concipiuntur:* alterum vero, *quod fila quae magnitudines ad libram suspendunt aequidistantia supponuntur, cum tamen in centro terrae concurrere debeant.* Ego vero in ea sum sententia, vel nullam ex his suppositionibus esse falsam, vel reliqua omnia principia Geometriae falsa existere eodem modo. Falsum enim est, quod circulus habeat centrum, sphaera superficiem, conus soliditatem. Loquor de figuris abstractis quales Geometria considerare solet; non autem de physicis et concretis. Necesse igitur erit fateri quod circuli centrum, superficies sphaerae, soliditas coni, et reliqua huiusmodi non controversa, nullam aliam habeant existentiam, praeter illam quam accipiunt per definitionem et per intellectum. Eodem prorsus modo gravitas est in figuris Geometricis, quomodo in iisdem est centrum, perimeter, superficies, soliditas, etc.)

cuerpos reales, sometidos a fuerzas reales; no se trata de explicar la caída o la gravedad; en la ciencia de Torricelli la gravedad no es una «cualidad» o una «potencia» de los cuerpos «graves»; es una magnitud, o —para emplear el mismo término que Torricelli— una dimensión. Sin duda, con respecto a las longitudes, las anchuras, los espesores, esa es una nueva dimensión. Pero el geómetra la trata exactamente como a las otras, sin preocuparse de la posibilidad física de los objetos que estudia. Por eso nada le impide privar de gravedad a un «cuerpo», o dotar de ella a una superficie o a una línea. No estamos en el mundo físico; de golpe somos transportados al mundo arquimediano de la geometría realizada, y los «cuerpos» de este mundo no son ni más ni menos reales que sus líneas sin anchura, o sus superficies sin espesor. Los razonamientos del mecánico no difieren por naturaleza de los del geómetra. Como éste, es libre de definir sus objetos y de conferirles un ser *ex definitione*. Puede incluso [345] «mediante razonamientos mecánicos engendrar figuras (geométricas) por nuevas definiciones». Así por ejemplo, puede definir el cuadrado [346] «como un cuadrilátero cuyos puntos singulares —puesto que es equiángulo y equilátero— poseen el «momento» de moverse hacia cualquier región del mundo siguiendo líneas paralelas entre sí». Lo que quiere decir —si no nos equivocamos— que es imposible separar la mecánica de la geometría, pues la noción de movimiento es una noción utilizada por la geometría en sus definiciones [347]; «lo que debería bastar para eliminar toda clase de dudas en cuanto al valor y la verdad de la ciencia arquimediana en aquéllos que no aceptan su mecánica con la mentalidad con que debe ser aceptada» [348].

Esto contra la primera de las críticas dirigidas a Arquímedes: la atribución de peso a las figuras geométricas [349]. «Voy

---

[345] *Ibid.*, p. 9: «Laudarem igitur in Mechanicis contemplationibus nova definitione figuras generare; hoc, aut alio non absimili modo.»

[346] *Ibid.* «*Quadrantum est quadrilaterum, quod, cum aequilaterum, et aecquiangulum sit, singula ipsius puncta momentum habent procedendi versus aliquam mundi plagam per lineas inter se parallelas.*»

[347] La misma idea en Descartes, véase *infra*, pp. 307-308.

[348] *Ibid.*: «Huiusmodi enim definitio omnem demeret occasionem dubitandi, Ilis, qui Mechanica Archimedis opera, secundum ipsius mentem non accipiunt. Sed hucusque dictum sit pro obliteranda primae falsitatis nota, quod figurae Gometricae graves sint.»

[349] *Ibid.*: «Venio nunc ad secundum (ut aliqui existimant) falsum. Principio, vulgatissima est etiam apud gravissimos viro obiectio illa, videlicet *Archimedem supposuisse aliquod falsum, dum fila magnitudinum ex libra pendentium consideravit tanquam inter se parallela, cum tamen re vera in ipso terrae centro concurrere debeant.* Ego vero (quod pace clarissimorum virorum dictum sit) crediderim fundamentum Mechanicum longe alia ratione esse considerandum. Concedo si fisicae magnitudines al libram libere sus-

ahora con el segundo supuesto que califican de falso. Es una objeción muy común, e incluso las personas más serias dicen que Arquímedes supuso [que era verdadero] *algo que es falso, cuando admitió que los hilos de los que están suspendidos los pesos que cuelgan de los brazos de la balanza eran paralelos entre sí, cuando en realidad deben cruzarse en el centro de la tierra.* En cuanto a mí (dicho sin ánimo de ofender a hombres muy ilustres), creo más bien que el fundamento de la mecánica debe ser considerado de forma completamente diferente. Convengo en que si hubiera magnitudes físicas [pesos] libremente suspendidas de la balanza, los hilos materiales de suspensión serían convergentes, porque cada uno de ellos se dirige hacia el centro de la tierra. No obstante, si se considerara [que] esta misma balanza, aunque corporal, [está situada] no en la superficie de la tierra, sino en las altísimas regiones más allá de la esfera solar, entonces los hilos (aunque continuaran dirigidos hacia el centro de la tierra) serían mucho menos convergentes entre sí, pero casi equidistantes. Ahora concibamos una balanza mecánica transportada más allá de la balanza estelar del firmamento, a una distancia infinita: es fácil comprender que los hilos de suspensión ya no serán convergentes sino rigurosamente paralelos. Entonces, cuando considero una balanza que pesa figuras geométricas, no la concibo entre las páginas de los libros en donde la veo dibujada; y no creo que el punto hacia el que tienden esas magnitudes sea el centro de la tierra, sino que a esa balanza me la imagino infinitamente alejada del punto hacia el cual tienden sus graves.»

El desinterés por lo real, la geometrización del espacio, la identificación del espacio físico con el espacio geométrico efectuada —pese a lo que diga Torricelli— imperfectamente por Arquímedes es ahora total. Física = mecánica; mecánica = geometría. Por eso Torricelli no experimenta ningún escrúpulo al llevar su balanza «corporal» a los espacios «imaginarios» más allá de la

---

pendantur, quod fila materialia suspensionum convergentia erunt; quandoquidem singula al centrum terrae respiciunt. Verumtamen si eadem libra, licet corporea, consideretur non in superficie terrae, sed in altissimis regionibus ultra orbem Solis; tum fila (dummodo adhuc ad terrae centrum respiciant) multo minus convergentia inter se erunt. Sed quasi aequidistantia. Concipiamus iam ipsam libram Mechanicam ultra stellatam libram firmamenti in infinitam distantiam esse provectam, quis non intelligit fila suspensionum iam non amplius convergentia, sed exacte parallela fore? Quando ego considero libram, figuras Geometricas ponderantem, non concipio illam esse inter cartas librorum in quibus depicta conspicitur; neque suppono punctum, ad quod magnitudines ipsius tendunt, esse centrum terrae; sed libram fingo in infinitum remotam esse ab eo puncto, ad quod ipsius gravia contendunt.»

esfera estrellada, hasta una distancia *actualmente infinita.* El espacio geométrico *es* infinito; y de resultas, el espacio de la mecánica y, por lo tanto el de la física —sean cuales fueren las dimensiones reales del universo creado— se vuelven, a su vez, infinitos. El espacio «abstracto» de Torricelli es el equivalente —en mejor— del Universo infinito de Bruno. Pero, escuchemos a Torricelli [350]: «Si después de esto, es decir, después de haber sido transportada a una distancia infinita, y después de haber servido para deducir ciertas fórmulas y ciertas relaciones, esa balanza arquimediana fuera de nuevo traída por nuestra imaginación hacia nuestras regiones, la equidistancia de los hilos de la suspensión quedaría, sin duda, destruida; pero la proporción de las figuras, ya demostrada, no se destruiría por eso. Es singularmente ventajoso para el geómetra efectuar todas sus operaciones —con ayuda de la abstracción— por medio del intelecto. ¿Quién me negará, pues [el derecho a] considerar libremente figuras suspendidas de una supuesta balanza alejada a una distancia infinita fuera de los confines del mundo? O también, ¿quién me impedirá considerar una balanza situada en la superficie de la tierra, en la que, sin embargo, las magnitudes [pesos] abstractas no tendieran hacia el punto central de la tierra sino hacia el de la constelación del Can, o hacia la Estrella Polar?» Efectivamente, no existe razón alguna para limitar la libertad del mecánico-geómetra desde el momento en que tiene buen cuidado de advertirnos que ha situado en la superficie de la tierra una balanza que no es real sino matemática y de la que cuelgan pesos-magnitudes abstractos [351]. «Los triángulos y las parábolas, e incluso las esferas y los cilindros geométricos, al ser en sí mismos perfectamente indiferentes al movimiento, no tienden hacia el centro de la tierra más que hacia el de Saturno. Por eso, aquél que considera que esas figuras tienden única-

---

[350] *Ibid.*, p. 10: «Si postea ibi conclusero triangulum aliquod triplum esse cuiusdam spatii; retrahatur imaginatione ipsa libra ad nostras regiones; concedo quod retracta libra destruetur aequidistantia filorum suspensionis, sed non ideo destruetur proportio jam demonstrata figurarum. Peculiare quoddam beneficium habet Geometra, cum ipse abstractionis ope, omnes operationes suas mediante intellectu exequatur. Quis igitur mihi hoc negaverit, si liberat considerare figuras appensas ad libram, quae quidam libra ultra mundi confinium in infinitam distantiam remota supponatur? Vel quis proibebit considerare libram in superficie terrae constitutam, cuius tamen abstractae magnitudines tendant, non ad medium terrae punctum, sed ad centrum caniculae, sive stellae polaris?»

[351] *Ibid.*: «Triangula et parabolae, immo etiam sphaerae cylindrique Geometrici, cum nullam per se habeant motus differentiam, non magis ad ipsius terrae, quam ad Saturni centrum contendunt. Destruit ergo beneficium suum quisquis figuras illas, tamquam ad unicum terrae centrum tendentes, contemplatur.»

mente hacia el centro de la tierra destruye su beneficio.» En efecto, la operación que nos describe Torricelli consiste en sustituir el cuerpo físico y real por un cuerpo matemático y «abstracto» (lo que implica la transformación de la pesantez natural en «magnitud» o dimensión libremente variable), y en reinsertar este «cuerpo» en el marco espacial de lo real. Limitar la posible dirección de la pesantez, asociarla, o más bien reasociarla al centro de la tierra sería perder todo el «beneficio» de la operación. «Así pues —prosigue Torricelli—, ¿por qué no ha de estarme permitido considerar que los puntos de cualquier figura están dotados de tal virtud que por líneas paralelas tienden todos hacia cualquier región del espacio?» [352]. En efecto, esta «virtud motriz» no es ya más que una dimensión o una magnitud que se puede, a voluntad, *adjuntar* a los puntos; no hay necesidad de poderla alojar en ellos. «Si se supone que estos hechos son verdaderos —de la misma manera que son verdaderas las propiedades de las figuras que les son atribuidas en y por las definiciones—, los teoremas de ellos deducidos, con ayuda de consideraciones mecánicas, por quienes efectúen dicha abstracción serán igualmente verdaderos, y [los teoremas] no serán demostrados con ayuda de proposiciones falsas»; puesto que las proposiciones de base, los supuestos, no se refieren en absoluto, como acaba de explicárnoslo Torricelli, a una realidad sensible, física en el antiguo sentido del término, sino a una «realidad» abstracta, matemática, que la sustituye.

«Así pues —prosigue Torricelli—, el fundamento de la mecánica, a saber: el paralelismo de los hilos [de la suspensión] podría ser calificado de falso si las magnitudes [pesos] colgadas de la balanza fueran cosas físicas y reales que tendieran al centro de la tierra. Pero no será falso cuando esas magnitudes (ya sean abstractas o concretas) no tiendan ni hacia el centro de la tierra ni hacia un punto cualquiera próximo a la balanza, sino hacia algún otro punto infinitamente alejado» [353].

---

[352] *Ibid.*: «Cur denique non licebit mihi considerare puncta cuiuscunque figurae eiusmod virtute praedita, ut singula versus eandem mundi plagam per lineas inter se parallelas aequali momento contendant? His ita suppositis, quae vera sunt, quemadmodum sunt verae passiones figurarum, quae in definitionibus adhibentur, vera etiam erunt quaecunque Theoremata per Mechanicas rationes ab ipsis abstrahentibus fuerint considerata, neque per falsas positiones demonstrabuntur.»

[353] *Ibid.*, p. 11: «Tunc itaque falsum dici poterit fundamentum Mechanicum, nempe fila librae parallela esse, quando magnitudines ad libram appensae fisicae sint, realesque, et ad terrae centrum conspirantes. Non autem falsum erit, quando magnitudines (sive abstractae, sive concretae sint) non ad centrum terrae, neque ad aliud punctum propinquum librae respiciant; sed ad aliquod punctum infinite distans connitantur.»

c) *Gassendi*

Como muy justamente lo ha señalado E. Wohlwill, la obra de Gassendi está fuertemente inspirada por la de Galileo; mucho más de lo que el mismo Gassendi reconoce[354]. Sin embargo, el mérito de Gassendi es muy grande: *comprendió* profundamente a Galileo; queremos decir: comprendió y puso en claro la *ontología* que formaba la infraestructura de la nueva ciencia; además, gracias a Demócrito y, cosa curiosa, gracias a Kepler, Gassendi logró desembarazarse de los últimos obstáculos de la tradición y del sentido común que habían trabado el avance del pensamiento galileano, y de este modo adquirió la gloria imperecedera de haber sido el primero en *publicar* —si no el primero en enunciar— una fórmula correcta del principio de inercia. Por eso el estudio de su pensamiento es sumamente instructivo; además, nos parece confirmar enteramente la explicación del fracaso galileano que anteriormente desarrollamos.

Al contrario que Cavalieri o Torricelli, Gassendi no es en modo alguno un matemático[355]. Lo que le interesa y quiere llegar a comprender es el lado físico, e incluso el mecanismo físico, de los fenómenos estudiados por Galileo. Además, como ahora veremos, no va mal encaminado: el hecho de explicar la pesantez le permite hacer abstracción de ella.

Frente a la experiencia, Gassendi no tiene tampoco la actitud soberana de Galileo. Por eso comienza con el relato de un experimento: del famoso experimento de la caída de la bala de cañón lanzada desde lo alto del mástil de un navío en movimiento[356]. Experimento que, como hemos dicho anteriormente[357], ha hecho, y que ahora utiliza para deducir los dos principios fundamentales de la nueva ciencia: los principios de la relatividad y de la interindependencia de los movimientos.

El experimento invalida la doctrina tradicional. La piedra cae al pie del mástil. Y Gassendi explica largamente a su corres-

---

[354] E. Wohlwill. «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., v. XV, p. 355, n. 2.

[355] Lo es tan poco que no llega a comprender la deducción por Galileo de la ley de la caída y cree que para obtener la ley del cuadrado es preciso admitir la acción simultánea de la atracción y de la reacción del medio. Cf. Pierre Gassendi, *De motu impresso a motore translato*, París, 1642, c. XVII, pp. 64 ss.; c. XVIII, pp. 69 ss.

[356] Véase *De motu impresso a motore translato*, c. V, pp. 14 ss. Toda la primera parte de la obra está consagrada a la explicación de la transmisión del movimiento del motor al móvil, o, más exactamente, del hecho de que un móvil, ligado a un sistema en movimiento, participe en este movimiento.

[357] Véase *supra*, p. 213, n. 150.

ponsal cómo es que la piedra, que a causa de la combinación de los movimientos que la animan [358] describe en realidad —bien sea lanzada de abajo arriba o de arriba abajo— un movimiento complejo, a saber, una parábola [359], nos parece a nosotros que se mueve en línea recta. Lo que ocurre es que sólo es perceptible el movimiento relativo. Ahora bien, nosotros mismos somos llevados por el navío en movimiento. Por eso [360] «no es de extrañar que a todos los que estábamos en dicha [la misma] galera, nos diera la impresión de que el movimiento era perpendicular, pues sólo nos fue observable el movimiento de la piedra hacia abajo; en realidad, no era posible observar el movimiento hacia adelante porque nos era común con la piedra».

Como Gassendi bien sabe, el defensor de la tradición no quedará convencido, ni siquiera satisfecho, con esta explicación. Pues poco le importa que el movimiento (horizontal) sea perceptible o no. Existe, y para que la explicación de Gassendi resista, es necesario que ese movimiento sea capaz de combinarse con el movimiento de la caída, o del lanzamiento, sin que los dos movimientos puedan estorbarse mutuamente. Que ocurra en dos movimientos violentos, bueno. Pero ¿cómo puede combinarse un movimiento violento con el movimiento natural sin que de ello resulte ningún entorpecimiento? Gassendi responde rechazando ante todo el fundamento de la distinción tradicional. No es que sea del todo hostil al empleo de estos términos; estima que se pueden utilizar para designar la diferencia entre los movimientos que se ejecutan espontáneamente, o por lo menos sin ninguna repulsión, y aquéllos a los que repele la naturaleza del móvil: «De este modo, la trayectoria de un globo a través del aire es violenta... su rotación sobre un plano, por el contrario, natural, porque nada se opone a ella» [361].

Pero si se quiere dar a esta distinción un valor más profundo se llegará a resultados muy diferentes de los admitidos por

---

[358] *De motu impresso a motore translato*, c. VI, pp. 22 ss.

[359] *De motu*, c. VII, pp. 27 ss.

[360] *De motu*, c. V, p. 17. «Neque est jam mirum, si omnibus nobis, qui in eadem triremi eramus, apparebat motus perpendicularis; quippe observabilis nobis solum erat motus lapidis deorsum; nam ille quidem ad anteriora observari non poterat, quoniam erat nobis communis cum lapide...»

[361] *De motu impresso a motore translato*, c. IX, p. 35: «Preterea cum motus naturalis, et violenti voces non videantur nobis esse confundendae, ea mihi semper utriusque notio visa est commodissima, ut naturalis appelletur, qui aut sponte, aut sine ulla repugnantia fit: violentus, qui praeter naturam, at cum aliqua repugnantia... Ita trajectio globi per aerem violenta, qui praeter naturam; volutio supra planum naturalis quia nihil repugnat.»

la física tradicional. Pues, en primer lugar[362], «...parece no haber allí ningún movimiento que —con excepción del movimiento primordial— no pueda ser considerado como violento, pues no existe ninguno que no se produzca por el empuje de una cosa por otra; esa es la razón por la cual Aristóteles buscó un motor externo incluso para las cosas que caen». Sin duda podría invocarse el conocido adagio: «*Nada de lo que es violento puede ser perpetuo*». Pues bien, este adagio no le parece en absoluto evidente a Gassendi, quien estima que no se basa en nada, y que la violencia perpetua no es en modo alguno absurda[363]. Sea, pues. Admitamos el valor del adagio. De ello resultará que, a la inversa, todo lo que es natural debe ser perpetuo; de donde se desprende que el movimiento de la caída no podrá nunca ser considerado como movimiento natural, aunque sólo sea porque no es uniforme, pues «está claro que la fuente de la perpetuidad es la uniformidad, y la de la cesación, la desigualdad; pues sólo lo que no aumenta ni disminuye puede perdurar; y por la fuerza de la naturaleza nada puede aumentar ni disminuir indefinidamente. Así pues, si alguien busca en esas cosas compuestas un movimiento que sea natural *al máximo*, está claro que será el movimiento de los cielos, porque, antes que todos los demás, es uniforme y perpetuo merced a la forma circular escogida por el creador: no teniendo ésta ni comienzo ni fin, puede ser uniforme y perpetuo»[364].

Así, la circularidad explica la uniformidad y por lo tanto la perpetuidad del movimiento de los cielos. Sólo la circularidad. Por eso los movimientos circulares en la tierra, y en particular el movimiento horizontal, participarán de la misma uniformidad, eternidad y naturalidad.

---

[362] *Ibid.*: «Nullus videtur motus, qui secluto primaevo illo, non possit censeri violentus: quatenus nullus est, qui nisi cum impulsione unius rei in aliam fiat, ex quo effectum est, ut Aristoteles, etiam rerum cadentium quaesierit motorem externum.» El movimiento primordial es el de la esfera celeste.

[363] *Ibid.*: «Neque videri absurdum debet, esse continuam aliquam in rebus naturae violentiam.»

[364] *De motu*, c. IX, p. 36: «Et sane cum sit commune effatum. Nihil violentum esse perpetuum; cui est consentaneum, ut quod est naturale perpetuum sit; constat radicem perpetuitatis esse aequabilitatem, cessationis inaequabilitatem; quatenus id solum, quod neque invalescit, neque debilitatur, perdurare potest; nihilque potest naturae vi aut increscere, aut decrescere infinite. Adhaec, si quis requirat motum in hisce rebus compositis, qui sit maxime naturalis, perspicuum videtur eum esse caelestem; quatenus est prae ceteris aequabilis, atque perpetuus; delecta ab authore circulari forma, secundum quam, principio, et fine carentem, esse aequabilitas, et perpetuitas posset.»

Gassendi prosigue entonces[365]: «No vuelvo aquí [a la cuestión de] cómo la piedra [dejada caer] desde lo alto del mástil mientras el navío se mueve, sólo aparentemente sigue la vertical al caer, cuando, en verdad,[se mueve] oblicuamente, siguiendo la línea que hemos determinado; [diré] solamente que la piedra no se mueve por sí misma, porque es movida por la fuerza que se le imprime con la mano, [fuerza] que proviene de la traslación de la mano por el navío al que sigue junto con el mástil. Por eso entre los dos casos siguientes: 1.°, la mano que

[365] *De motu*, c. x, pp. 38 ss.: «Non repeto heic, quemadmodum lapis a vertice mali, dum navis movetur, apparenter solum secundum perpendiculum cadat, reipsa vero oblique per eam, quam descripsimus lineam; innüo duntaxat lapidem non sponte moveri, quia movetur vi a manu impressa ex translatione manus a navi, cui una cum malo insistit. Atque id quidem seu manus in fastigio mali consistens lapidem dimittat, seu lapis ex radice mali projectus, ubi prevenerit ad summun, postea recidat; ut proinde intelligas posse vel ex hoc capite motum lapidis decidentis, recidentisve dici violentum. Dices, cum hic obliquus motus mistus, seu compositus fit ex perpendiculari et horizontali; id quidem, quod est ex horizontali, existimari posse violentum, at quod ex perpendiculari, id saltem esse naturale. Nam quod lapis quidem sursum projectus, et nihilominus oblique incedens, secundum utrumque violentus sit, videri perspicuum: quoniam utriusque causa externa, impellensque est, illius nempe ipsa vis navis, huius vero vis manus propria: at quod deorsum dimissus, et oblique nihilominus incedens, secundum utrumque violentus sit, non posse perinde esse in confesso: quippe horizontalis quidem causa similiter externa, impellensque, vis navis est; sed perpendicularis causa non est perinde vis propria manus. Quare et necesse videri lapidem eo motu moveri ab interno principio: esseque proinde eum motum non violentum, sed naturalem. Attamen id videtur primum consideratione dignum, si ex duobus his motibus, perpendiculari nempe, et horizontali, qui obliquum illum componunt, alter habendus naturalis sit, illum horizontalem potius, quod secundum horizontem, seu circulariter movebatur, ideo ad ejus imitationem movetur circulariter, ac naturaliter proinde, et prorsus equabiliter; adeo ut, quantumcumque motus perpendicularis increscat semper, aut decrescat; ipse tamen horizontalis uno semper tenore fluat, invariabiliterque procedat. Ac forte res minus mirabilis esset, de impressione ex motu terrae, si quis vellet ipsam supra axem suum mobilem supponere; siquidem lapis dici posset moveri uniformiter, ob spontaneam consequutionem, ad uniformem motum totius; seu cum eo cohaerens, seu abiunctus foret; Sed mirabile sane est de impressione ex navi, equo, curru, aliave re, aut ex sola manu: quando lapis non habet cum rebus eiuscemodi, motibusve earum parem relationem. Ex quo par est existimare, motum horizontalem, a quacumque causa is fiat, ex sua natura perpetuum fore, nisi causa aliqua intervenerit, quae mobile abducat, motumque exturbet. Id, ut minus absurdum habeas, concipiendum est mobile, quod tantundem sese reducat, quantum abductum fuerit. Huiusmodi autem esse potest exquisitus, et uniformis materiae globus, si volvi ipsum imagineris supra horizontem, seu ambitum terrae, quem aliunde esse exquisite complanatum concipias. Si supponas enim te illi vel leviculum imprimere motum; intelliges sane hunc motum nunquam cessaturum, sed globum revolutum iri secundum totum ambitum, ac revolutione peracta revolutum iterum iri, et consequentur iterum, et ita continuo perseveraturum.»

desde lo alto del mástil deja caer la piedra, y 2.º, la piedra que lanzada desde la base del mástil cae de nuevo después de haber llegado a lo alto del mástil, no hay ninguna diferencia. Por esa razón, el movimiento descendente de la piedra, lo mismo que el ascendente, pueden ser llamados violentos. Quizá se nos objete que el movimiento oblicuo, al ser mixto o compuesto de vertical y horizontal, puede ser perfectamente considerado violento, pero no el vertical, que es natural. En efecto, parece evidente que [los movimientos] con los que se mueve la piedra proyectada hacia arriba, aunque avance oblicuamente, son ambos violentos, puesto que las causas de los dos son externas, a saber, la propia fuerza del navío y la misma fuerza de la mano; pero no es tan manifiesto que el movimiento [de la piedra] dejada caer hacia abajo, aunque avance oblicuamente, sea violento conforme a los dos [componentes]; pues si la causa del [movimiento] horizontal es siempre externa, a saber, el empuje o la fuerza del navío, la causa del vertical no es ya la propia fuerza de la mano. Por eso parece necesario que la piedra se mueva con dicho movimiento en virtud de un principio interno; y que, por consiguiente, su movimiento no sea violento sino natural. Sin embargo, en primer lugar parece digno de mención que si uno de esos dos movimientos, a saber, el horizontal y el vertical, que componen el oblicuo, debiera ser calificado de natural, más bien lo sería el horizontal que el vertical. En efecto, puesto que el proyectil forma parte de un todo que se mueve horizontalmente, es decir circularmente, se mueve también a imitación de ese todo, circularmente, y por lo tanto de forma natural y uniforme. El movimiento vertical aumenta o decrece; sin embargo, el horizontal transcurre siempre uniformemente y se prosigue invariablemente. Es posible que si se tratara del movimiento de la tierra —si se la supusiera móvil sobre su eje— esto pareciera menos sorprendente; pues podría decirse que la piedra se mueve uniformemente porque de modo espontáneo se ajusta al movimiento uniforme del todo, ya esté unida a la tierra o separada de ella. Pero sin duda es sorprendente [cuando se trata del movimiento] impreso por la marcha del navío, o de otra cosa, o de la mano sola; pues la piedra no posee relación similar a esas cosas, o a sus movimientos. De donde es justo deducir que el movimiento horizontal, cualquiera que sea la causa de la que proceda, es por naturaleza perpetuo, a menos que intervenga una causa que desvíe al móvil y turbe su movimiento». Para convencerse de ello basta con concebir un móvil en movimiento del que sea eliminada toda causa de perturbación o de desviación; por ejemplo, una esfera muy perfecta y perfectamente pulida,

hecha de materia uniforme, a la que imagináramos situada en el horizonte, es decir, en el «circuito de la tierra». «Supongamos que se le imprime un movimiento, por débil que sea; ciertamente, se comprenderá que ese movimiento nunca ha de cesar, pues habiendo efectuado la esfera una revolución, realizará la segunda y recorrerá de nuevo todo el circuito, y después de haber hecho ésta hará otra y después otra más y así perseverará indefinidamente.»

Gassendi nos explica que una esfera perfecta que rueda por una superficie horizontal queda siempre en la misma posición con respecto a ésta: cuando una de sus mitades baja la otra sube otro tanto —razonamiento que, como se sabe, proviene de Nicolás de Cusa. Pero, además, esta esfera —lo mismo que cualquier otro objeto que se mueva en un plano horizontal, es decir, en una superficie esférica, en este caso la de la tierra— se encuentra en una situación privilegiada con respecto a ésta, o más exactamente, con respecto a su centro[366]:

«Además no existe ninguna razón para que retarde o acelere su marcha, porque nunca se aleja del centro de la tierra ni se acerca a él, ni tampoco para que se detenga, como lo haría si hubiera alguna irregularidad [desigualdad] en la superficie.»

Henos aquí en la situación galileana: los graves —y para Gassendi, lo mismo que para el propio Galileo, todos los cuerpos son «graves»—, una vez puestos en movimiento, conservan el movimiento que les es conferido y se mueven con un movimiento constante, uniforme y, por consiguiente, perpetuo con tal de que se muevan en círculo «alrededor de un centro» o, más exactamente, alrededor del centro de la tierra, o del de las cosas graves en general.

Aquí es donde la meditación de la obra kepleriana y, claro está, de la de Gilbert, permite a Gassendi dar un paso, y un paso decisivo, hacia adelante. Porque a la pregunta de ¿qué es, pues, la gravedad? no se limita a responder como había debido hacerlo Galileo: es un nombre para designar algo cuya naturaleza ignoramos; determina su naturaleza positiva, y sobre todo negativa; la gravedad es una fuerza como las demás; es una atracción, algo análogo a la fuerza magnética.

Sin duda se nos podría objetar que el progreso realizado de este modo por Gassendi no es sino una añagaza, y que no se gana gran cosa con sustiuir el *nombre* de gravedad por el *nom-*

---

[366] *De motu*, c. x, p. 40: «Accedit, quod nulla sit causa, quamobrem suum cursum vel retardet unquam, vel acceleret, quatenus nunquam magis, vel minus a centro terrae abscedit, aut ad id accedit: neque cur proinde unquam debeat a motu cessare, quemadmodum fieret, si supponeres aliquam in superficie inaequabilitatem.»

bre de atracción; es más, que no se gana nada, ya que se continúa ignorando la naturaleza de la cosa de que se trata y que se designa con esos «nombres». Desde cierto punto de vista, y en particular desde el de Galileo, la objeción está muy justificada. Está claro que Gassendi —al igual que Gilbert, Kepler o nosotros mismos— ignora por completo la naturaleza de la cosa; y las imágenes que utiliza para permitirnos imaginar esta cosa y percatarnos de su acción (imágenes diferentes y divergentes, por otra parte: cuerdecillas, cadenitas, ganchos, acción de partículas, etc.) en modo alguno satisfacen el objetivo que se les asigna. Y no obstante, el hecho mismo de dar una explicación, aunque sea verbal, reviste suma importancia.

Que la atracción es una fuerza como las otras quiere decir que es una fuerza *externa*. Que finalmente se reduce al contacto, a la presión, al empuje; para Gassendi, lo mismo que para Descartes, no hay fuerzas materiales que actúen de otro modo que no sea por contacto. Ninguna fuerza material puede actuar a distancia; ningún cuerpo puede actuar allí donde no está, y ninguno puede crear movimiento: sólo puede transmitirlo. Gassendi lo dice muy claramente [367]: todo movimiento se hace mediante un impulso y «cuando digo impulso no quiero de ningún modo hacer una excepción para la atracción; pues atraer no es otra cosa que empujar hacia sí con un instrumento curvo». De este modo la gravedad pierde su misterio, o su privilegio ontológico [368]; y así el movimiento producido por la gravedad pierde su carácter excepcional. «La gravedad, que está en las partes mismas de la tierra, así como en todos los cuerpos terrestres, no es tanto una fuerza interna como una fuerza impresa por la atracción de la tierra.» ¿Cómo? El ejemplo del imán nos lo va a aclarar [369]. «Tómese y sosténgase en la mano una lámina de

[367] *De motu*, c. XVIII, p. 68: «Neque vero, cum impulsum dico, attractum non intelligo: quippe cum attrahere nihil aliud sit, quam recurvato instrumento versum se impellere; et perspicuum sit lapidem, globumve memoratum tam impelli uno, pluribusve ictibus posse, si quis ipsum antecedendo curvis digitis adigat, quam si subsequendo devexeris propellat.» Sobre el problema de la atracción en la época de Gassendi, véase *La correspondance du R. P. Marin Mersenne*, v. II, pp. 234 ss.

[368] Es curioso comparar el modo en que Cavalieri y Torricelli exorcizan la gravedad con el de Gassendi: Cavalieri y Torricelli hacen de ella una *magnitud* o una *dimensión*. Gassendi, siguiendo a Kepler (cf. *supra*, pp. 175 ss., 180-181), una fuerza mecánica.

[369] *De motu*, II, c. VIII, p. 116. «...gravitatem, quae est in ipsis partibus Terrae, terrenisve corporibus, non tam esse vim insitam, quam ex attractu Terrae impressam; idque posse intelligi adjuncto exemplo ipsius magnetis. Accipito enim, et contineto manu laminulam ferri paucarum unciarum. Si supponatur deinde manui magnes aliquis robustissimus, experiere pondus non jam unciarum, sed librarum aliquot esse. Et quia fatebere hoc pondus

hierro de unas cuantas onzas. Si después de esto se coloca debajo de la mano un imán muy potente, se sentirá un peso ya no de onzas, sino de libras. Y así como se convendrá en que ese peso no es tanto interior al hierro cuanto es impreso por la atracción del imán colocado debajo de la mano, así también, cuando se trata del peso o de la gravedad de la piedra o de cualquier otro cuerpo terrestre, se comprenderá que esa gravedad no pertenece tanto a ese cuerpo tomado en sí como [proviene] de la atracción de la tierra.»

Ahora bien, si esto es así, si la pesantez de un cuerpo no es más que un efecto de una fuerza exterior, se puede abstraer con facilidad de ella sin que haya que modificar la concepción que se tiene del cuerpo tomado en sí. O, si se quiere, puesto que la gravedad no es sino un efecto exterior, entonces hay que excluirla de la concepción que se tiene del cuerpo tomado en sí. Por eso es posible imaginar un cuerpo no grave, es decir, no sometido a la acción de la tierra que engendra en él la gravedad. No es muy difícil. En realidad, toda acción implica un contacto inmediato o mediato. Suprimamos ese contacto o, si no es suficiente, eliminemos la causa misma de la acción[370].

---

non tam esse insitum ferro, quam impressum ex attractione magnetis manui suppositi; idcirco ubi agitur de pondere seu gravitate lapidis, alteriusve corporis terreni, intelligi potest ea gravitas non tam convenire huiusmodi corpori ex se, quam ex attractione suppositae Terrae.» La identificación, o mejor dicho, la asimilación de la atracción terrestre a la atracción magnética es, como es bien sabido, la idea fundamental de la obra de Gilbert, aceptada y compartida por Galileo. Cf. *supra*, pp. 246 ss. En cuanto a Kepler, fue él quien suministró a Gassendi la idea de los lazos o cadenas de atracción. Cf. c. xv, pp. 61 ss.: :«Fit denique, ut si duo lapides, duove globi ex eadem materia veluti ex plumbo, unus pusillus alius ingens, simul dimittantur ex eadem altitudine, eodem momento ad Terram perveniant, ac pusillus, tametsi una uncia ponderosior non sit, non minore velocitate, quam ingens, tametsi sit centum, et plurium librarum. Videlicet pluribus quidem chordulis attrahitur ingens, sed plureis etiam particulas attrahendas habet; adeo ut fiat conmmensuratio inter vim, ac molem, et ex utraque utrobique tantum sit quantum ad motum sufficit eodem tempore peragendum. Id permirum; si globi fuerint ex diversa materia, ut alter plumbeus, alter ligneus, vix quicquam tardius attingi Terram ab uno, quam ab alio, hoc est a ligneo, quam a plumbeo; quoniam pari modo fit commensuratio, dum totidem particulis totidem chordulae destinantur.»

[370] *De motu*, c. xv, p. 59.: «Concipe certe lapidem in spatiis illis imaginarus, quae sunt protensa ultra hunc mundum, et in quibus posset Deus alios mundos condere; an censeas ipsum illico ubi constitutus illeic fuerit, versus hanc Terram convolaturum, et non potius ubi fuerit semel positus, immotum mansurum, ut puta quasi non habentem neque sursum, neque deorsum, quo tendere, aut unde recedere valeat? Si censeas fore, ut huc feratur; imaginare non modo Terram, verum etiam totum mundum esse in nihilum redactum, spatiaque haec esse perinde inania, ac antequam Deus mundum conderet; tunc saltem, quia centrum non erit, spatiaque omnia erunt similia; censebis lapidem non huc accessurum, sed in loco illo fixum

«Concibamos una piedra situada en los espacios imaginarios que se extienden más allá de este mundo, y en los cuales Dios podría crear otros mundos; ¿piensas que ésta se dirigiría en seguida desde el lugar donde fue formada hacia la tierra? ¿No se quedaría más bien inmóvil allí donde estuviera situada, no teniendo, *por decirlo así, ni arriba ni abajo a donde pudiera tender y de donde pudiera retirarse?* [371]. Por lo demás se puede ir más lejos; imagínate que no sólo la tierra sino también el mundo entero queda reducido a la nada, y que los espacios están vacíos como antes de la creación del mundo. Entonces es seguro que no habrá centro y todos los espacios serán similares; por eso la piedra no se dirigirá hacia aquí, sino que permanecerá inmóvil en su sitio. Si la tierra es restituida, ¿que ocurrirá? ¿La piedra se dirigirá de inmediato hacia ella? Para eso sería preciso que la tierra fuera percibida por la piedra» [372]. En realidad, será la tierra quien la atraiga y para eso será necesario que alguna acción de la tierra llegue hasta ella. Resulta pues indispensable que haya un contacto entre ellas. Pues si Dios convirtiera en vacío perfecto algún espacio del aire que nos rodea, y ni desde la tierra ni desde ninguna otra parte llegara nada hasta allí, la piedra que estuviera allí situada, ¿tendería hacia la tierra o hacia el centro de ésta? Ciertamente no más que la piedra situada en los espacios extramundanos; porque para ella, que no tendría comunicación alguna ni con la tierra ni con cosa alguna del mundo, sería como si el mundo, y la tierra, o el centro, no estuvieran, y como si nada existiera [373].

Así pues, la gravedad no sólo es un fenómeno exterior y no un componente esencial del cuerpo físico, es también un efecto que se puede eliminar con bastante facilidad —(en la imaginación, ya que no en la realidad)—: efectivamente, para sustraer a

---

permansurum. Restituatur mundus, et in ipso Terra, an lapis statim huc contendet? Si fieri dicas, oportet sane sentiri Terram a lapide, debereque proinde Terram transmittere in ipsum vim quandam, atque adeo corpuscula, quibus sui sensum illi imprimat, seseque restitutam, ac in eodem loco denuo existentem veluti renunciet. Secus enim quomodo capis posse lapidem allici ad Terram?»

[371] El subrayado es nuestro.

[372] Gassendi tiene razón. Por lo demás, es la conclusión que admiten Telesio y Patrizzi.

[373] Gassendi, *De motu impresso a motore translato*, c. XV, p. 60. «...fac jam certum aliquod aëris nos ambientis spatium fieri a Deo prorsus inane, adeo ut neque ex Terra, neque aliunde aliquid in ipsum perveniat: an constitutus in eo lapis feretur in Terram, centrumve ipsius? Certe non magis, quam constitutus in spatiis illis ultramundanis; quia ipsi nihil neque cum Terra, neque cum alia re quacumque mundi ipsius communicanti, perinde erit, ac si Mundus Terraque, aut centrum non esset, nihilque rerum existeret?»

la acción de la gravedad cualquier cuerpo no hay más que situarlo suficientemente lejos[374], o colocarlo en el vacío[375].

«Me preguntas lo que le ocurriría a esa piedra que, según he admitido, puede ser concebida en los espacios vacíos si, sacada del reposo, fuera empujada por una fuerza cualquiera. Respondo que probablemente se moverá con un movimiento uniforme y sin fin; y se moverá lenta o rápidamente según sea grande o pequeño el *impetus* impreso. En cuanto a la prueba, la saco de la uniformidad, ya expuesta, del movimiento horizontal; y puesto que éste no parece terminarse si no es por la admixtión del movimiento vertical, se desprende que, puesto que en los espacios vacíos no habrá ninguna mixtura del [movimiento] vertical, el movimiento, en cualquier dirección que se haga, será similar al horizontal, y ni se acelerará ni se retardará y, por lo tanto, nunca cesará.»

Está visto: para el democríteo Gassendi, nada hay más fácil que imaginarse un Universo, o al menos un espacio, ilimitado y vacío; y liberado por Gilbert y por Kepler de la obsesión de la pesantez, nada le es más fácil que imaginar en ese espacio vacío un cuerpo real que se mueve perpetuamente en línea recta sin acelerar ni disminuir nunca su movimiento.

Pero subsiste una objeción. ¿No admitió Kepler que el cuerpo, *inerte* por naturaleza, posee una tendencia natural al reposo; una impotencia natural al movimiento? Sin duda. Pero Kepler se equivocó. Y, sin nombrar a Kepler, Gassendi explica[376]: «Aña-

---

[374] Gassendi, como todo el mundo, y en particular Gilbert y Kepler, se imagina que la acción de la atracción es *finita*. Fue preciso el genio y la audacia de Newton para extender su acción *hasta el infinito*.

[375] *De motu*, c. XVI, pp. 62 ss.: «Quaeres obiter, quidnam, eveniret illi lapidi, quem assumpsi concipi posse in spatiis illis inanibus, si a quiete exturbatus aliqua vi impelleretur? Respondeo probabile esse, fore, ut aequabiliter, indesinenterque moveratur; et lente quidem, celeriterve, prout semel parvus, aut magnus impressus foret impetus. Argumentum vero desumo, ex, aequabilitate illa motus horizontalis iam exposita; cum ille videatur aliunde non desinere nisi ex admistione motus perpendicularis; adeo ut, quia in illis spatiis nulla esset perpendicularis admistio, in quamcumque partem foret motus inceptus, horizontalis instar esset, et neque acceleraretur, retardareturve, neque proinde unquam desineret.»

[376] *De motu*, c. XV, pp. 60 ss.: «Addo saxa, et caetera corpora, quae dicuntur gravia, non eam habere ad motum resistentiam, quam vulgo concipimus. Vides quippe si ingens moles appendatur funiculo, quam levicula vi fit opus, ut e loco dimoveatur, et, prorsum, retrorsumque eat. Cur maiore ergo opus sit, ut cieri deorsum possit? Nec dicas vero esse maiorem, ob motum magis pernicem; etenim cum primum deorsum contendit, motus illius pernix non est, sed lentissimus potius, causaque dicenda mox est, ob quam deinceps acceleretur. Adnoto interea vim illam quae ex chordularum insensilium singularibus viribus conflatur, et constat, comprobari tantam, quantam superari oportet, ut manus, aut res alia gravitantem rem, velut

do que las piedras y los otros cuerpos a los que se llama graves no tienen esa resistencia al movimiento que habitualmente les atribuimos. Ves que si un gran peso se encuentra suspendido de un hilo, le resulta sumamente fácil ser desplazado de su lugar e ir para delante y para atrás». Pero esto no es todo. Gassendi ha estudiado bien a Galileo y sabe que el péndulo se mueve con movimiento isócrono. Por eso añade[377]: «¿No ves que la piedra suspendida, una vez que le es impreso el movimiento, lo retendrá de la forma más constante; es decir, llevando a cabo continuamente todas sus vibraciones no sólo en tiempos iguales sino también en arcos iguales? Ahora bien, todo esto no tiende sino a hacernos comprender que en el espacio vacío, donde nada atrae ni retiene ni ofrece ninguna resistencia, el movimiento impreso al móvil será uniforme y eterno; lo que nos permite inferir que todo movimiento que le es impreso a la piedra es, en sí, de esa naturaleza; de modo que en cualquier dirección que lances la piedra, si supones que en el momento mismo en que es lanzada por la mano, todo absolutamente a excepción de la piedra queda reducido a la nada, la piedra continuará eternamente su movimiento y en la misma dirección en la que tu mano la ha dirigido. Si no lo hace [en realidad], evidentemente es a

---

lapidem, abducat a Terra. Et vides profecto quid fieri videatur, dum lapis tibi ipsum e Terra atollere conanti resistit. Nempe tot illae chordulae suis deflexionibus, et quasi decussationibus illum implexum detinent; et, nisi vis major interveniat, quae eas deflexiones, decussationesque promoveat, strictionesque fieri ulterius cogat, nunquam a Terra lapis tolletur. Heinc fit, ut quanto vis externa, seu quae a manu, aliave re extrinsecus imprimitur, pluribus gradibus vim illam chordularum superaverit, tanto lapis efferatur sublimius; quanto paucioribus, tanto humilius. Fit etiam, ut impressa vis initio pollens vehementer pellat, quia nondum refracta est; deinceps vero segnius, segniusque, quoniam ipsi semper aliqui gradus adimuntur: donec ille solus supersit, quo exaequetur vi chordularum.»

[377] *De motu*, c. XVI, pp. 65 ss.: «An non capis fore ut lapis appensus impressum semel motum constantissime tueatur; scilicet omneis vibrationes non aequalibus modo temporibus peragens, sed aequalibus etiam arcubus continuo perficiens? Haec porro omnia alio non tendunt, quam ut intelligamus motum per spatium inane impressum, ubi nihil neque attrahit, neque omnino renititur, aequabilem fore, ac perpetuum; atque exinde colligamus, omnem prorsus motum, qui lapidi imprimitur esse ex se huiusmodi; adeo ut in quamcumque partem lapidem conjeceris, si quo momento a manu emittitur, supponas omnia vi divina, lapide excepto, in nihilum redigi; eventurum sit, ut lapis motum suum perpetuo, ac in eadem partem, in quam manus ipsum direxerit, moveatur. Nisi iam faciat, causam videri admistionem motus perpendicularis, ob attractionem a terra factam intervenientis, quae divergere illum a tramite faciat (neque cesset, quousque ipsum al Terram usque perduxerit) ut dum ramenta ferri prope magnetem transiecta non recta pergunt, sed versus magnetem divertuntur; aut dum universe rei, quae movetur, oblique occurrimus, ipsamque in obliquam deflectimus plagam.»

causa de la mixtura del movimiento vertical que interviene a causa de la atracción de la tierra, atracción que la hace desviarse de su camino (y no cesa hasta que la lleva a la tierra), lo mismo que las limaduras de hierro cerca del imán no se mueven en línea recta, sino que son desviadas hacia el imán». Así, pues, si los cuerpos caen, si sus trayectorias se curvan, es porque están sometidos a influencias externas. En realidad y en sí, todo movimiento debería ser rectilíneo, y todo movimiento debería conservarse eternamente [378].

Una última objeción: ese movimiento, ¿no es algo? ¿No es algo más que el reposo? Para producir el movimiento, ¿no hace falta una fuerza? ¿Y no se precisa de ella para conservarlo? Cuando se lanza un móvil, se despliega una fuerza. ¿No es esta fuerza, *impetus*, que se imprime al cuerpo, y no debe esta fuerza agotarse? De ningún modo, pues el movimiento, para proseguir no tiene necesidad de que al móvil le sea impresa una *fuerza*. Por eso el motor no lo hace [379]: «El motor no imprime al móvil nada más que *el movimiento*. Digo que es el movimiento que posee el móvil en cuanto le está unido el que le es impreso, y este movimiento continuaría y sería eterno si no fuera debilitado por algún movimiento contrario». De este modo, el movimiento se conserva solo.

«Añado —nos dice también Gassendi— [380] que con esto es

---

[378] *De motu*, c. XII, p. 46: «praeter causam impellentem, videtur esse necessarium ad attrahentem recurrere, quae id muneris exsequatur. Ceterum, haec vis quaenam alia sit, quam quí totius globi Telluris propria sit, el magnetica dici possit?»

[379] *De Motu*, c. XIX, pp. 75 ss.: «... [mobili] a movente nihil imprimi aliud quam motum... Imprimi, inquam, qualem movens habet, donec mobile est ipsi conjunctum, et qualis continuandus esset, futurusque perpetuus, nisi a motu aliquo adverso labefactaretur.»

[380] *De motu*, c. XIX, p. 74: «Unum addo; nempe licere ex istis intelligi, quid sentiendum sit de difficultate vulgo excitata circa vim impressam projectilibus. Requiritur quippe quidnam haec vis sit in re mobili? quamodo in ea imprimatur? quomodo perduret? quomodo evanescat? Enim vero, cum haberi soleat ut vis activa lapidem movens; videtur tamen vis activa, quae projectionis causa est, esse in ipso projiciente non vero in projecta re, quae mere passive se habet. Id quod in re projecta est, motus est, qui licet interdum nominetur vis, impetus etc. (ut etiam aliquoties a nobis factitatum est, dum, ut facilius intelligamur, familiares voces, quantum possumus, retinemus) non propterea tamen aliud quidpiam est reipsa, quam ipsemet motus. Et sane unus, idemque motus, vel per Aristotelem, actio simul et passio est; actio prout est a movente, passio, prout in mobili; quare ut in movente est vis activa, qua moveat, ita in mobili vis passiva, qua moveatur; et dum mobile reipsa movetur, non in eo querenda est vis activa, quae in movente solo necessaria fuit, sed passiva solum, quae in eo est, et redacta quidem, ut vocant, ad actum. Neque obstat, quod movens separatum sit, aut interiisse etiam, constante motu accepto, possit; nam non propterea requiritur, ut aliam, praeter motum, vim a sipso transmiserit, quae motum dein-

posible comprender lo que hay que pensar acerca de la dificultad que de ordinario surge en relación con la fuerza impresa a los proyectiles. En efecto, lo que se pregunta es: ¿qué hace en el móvil? ¿cómo se imprime? ¿cómo perdura y cómo desaparece? Bien, habitualmente se la considera una fuerza activa que mueve la piedra; sin embargo, al parecer la fuerza activa, que es causa de la proyección, está en el mismo lanzador, y de manera alguna en la cosa lanzada, que es puramente pasiva. Lo que hay en la cosa lanzada es movimiento, el cual, aunque a veces sea llamado fuerza, *impetus*, etc. (como lo hemos hecho nosotros mismos cuando, a fin de ser más fácilmente comprendidos hemos conservado, en lo posible, denominaciones familiares) no es sin embargo, en realidad, otra cosa que el mismo movimiento. Y, sin duda, un solo y mismo movimiento es, según Aristóteles, acción al mismo tiempo que pasión; acción en tanto que está en el motor, pasión en tanto que está en el móvil; porque en el motor es una fuerza activa por la cual es movido el móvil; y mientras el móvil se mueve no hay por qué buscar en él una fuerza activa, que sólo se encuentra en el motor, sino pasiva nada más, que está en el móvil y que, como se dice, es llevada al acto. Ahora bien, nada impide que el motor esté separado, o incluso desaparezca, y que el movimiento recibido perdure. Pues no se requiere del motor para que, fuera del movimiento, transmita al móvil una fuerza que luego produjera el movimiento; es suficiente que produzca en el móvil un movimiento que pueda continuar sin él. Ahora bien, el movimiento puede hacerlo, pues tal es la propiedad de su naturaleza, con tal de que haya un objeto perdurable y de que nada en contra le suceda; tiene la facultad de perseverar sin la acción continua de su causa.»

Estamos sin duda lejos de la claridad y de la profundidad metafísica de Descartes. Pero estamos igualmente lejos de las vacilaciones de un Galileo y de los errores de un Kepler. La eliminación consciente de la noción del *impetus*, la posesión de una teoría de la pesantez y la geometrización definitiva del espacio permiten a Gassendi traspasar las fronteras que habían detenido a estos dos grandes pensadores.

---

ceps efficiat; sed sufficit ut motum semel in mobili fecerit, qui continuari absque ipso possit. Potest autem; quoniam est ejus naturae accidens, ut modo subjectum perseverans habeat, neque contrarium quidpiam occurrat; perseverare absque continua causae suae actione valeat.»

B) DESCARTES

a) *El Mundo*

Volvamos ahora a Descartes. Al Descartes de después de 1630. Echemos una ojeada sobre su *Mundo.*

Cuando se pasa, como vamos a hacerlo, de Galileo a Descartes, del *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo* al *Mundo,* se experimenta una sensación muy curiosa, sensación que se podría resumir —muy mal, sin duda— diciendo que se cambia bruscamente de atmósfera espiritual.

La época de los combates, los días de lucha parecen estar muy lejos. Para Descartes ya no se trata, en absoluto, de combatir los argumentos continuamente repetidos, cuando no renovados, de los defensores de la astronomía geocéntrica: el copernicanismo se expande, se despliega tranquila e ingenuamente en su obra como la única concepción posible. En adelante toda discusión es inútil.

Tampoco se trata de hacer la crítica de la física aristotélica, de analizar sus fundamentos, sus fallos, sus contradicciones: son suficientes algunas chanzas sobre la materia prima, sobre el espacio imaginario de los filósofos[381]. Para Descartes, la física tradicional está muerta. E incluso enterrada. No hay que ocuparse más de ella. Lo que hay que hacer, lo que va a intentar tranquilamente Descartes, es reemplazarla. Es fundar y desarrollar una nueva física —la verdadera— y presentarnos una nueva imagen del mundo, es decir, en particular, una nueva concepción de la materia y una nueva concepción del movimiento.

Se trata de construir, o de reconstruir, el mundo y de hacerlo procediendo *a priori,* descendiendo a los efectos de las causas y no ascendiendo a las causas de los efectos.

Nada refleja mejor el desinterés de Descartes por las teorías tradicionales que la ficción literaria que emplea: no es nuestro mundo el que pretende describir, nos dice, sino otro, un mundo creado por Dios en alguna parte —infinitamente lejos del nuestro— de los espacios imaginarios; creado, podría decirse, con los medios disponibles. Por eso no son las leyes de nuestro mundo las que pretende explicarnos Descartes; por el contrario, lo que se propone es deducir las leyes del otro, esas leyes que impone Dios a la Naturaleza, y gracias a las cuales va a crear,

---

[381] Cf. Descartes, *Le monde ou traité de la lumière,* A. T., vol. XI, pp. 32, 33, 35.

en el otro mundo, toda la diversidad y toda la multiplicidad de los objetos que allí se encuentran[382].

Ficción literaria, acabamos de decir; chanza. Sin duda. Puesto que, en realidad, es nuestro mundo el que Descartes pretende reconstruir. Y, sin embargo, esta chanza nos revela una actitud característica de Descartes. En efecto, no es nuestro mundo el que estudia. No se pregunta —como se lo había preguntado Galileo— cuál es el modo de acción seguido efectivamente por la naturaleza. Lo que se pregunta es algo diferente; podría decirse que es cuál es el modo de acción que *debe* seguir la naturaleza. Las leyes de la naturaleza son leyes para la naturaleza, reglas a las cuales no puede dejar de ajustarse. Pues esas leyes, esas reglas, son las que la forman.

Como es de sobras sabido, el Universo cartesiano está construido con muy poca cosa. Materia y movimiento; o mejor dicho —ya que la materia cartesiana, homogénea y uniforme, sólo es extensión—, extensión y movimiento; o mejor dicho todavía —ya que la extensión cartesiana es estrictamente geométrica—, espacio y movimiento. Como se sabe, el Universo cartesiano es la geometría realizada.

La ley suprema del universo cartesiano es la ley de la persistencia. Lo que es, permanece. Lo que Dios ha creado, lo mantiene en el ser. Las dos realidades del universo cartesiano, espacio y movimiento, una vez creadas permanecen eternamente; el espacio no cambia, lo que es evidente. Pero el movimiento tampoco. Al menos, *la cantidad de movimiento* no puede aumentar ni disminuir una vez puesta por Dios en el mundo. Permanece constante. Esto implica que en el mundo cartesiano el movimiento posee realidad propia. Es creado por Dios, e incluso creado antes que las cosas. Pues las cosas existen gracias al movimiento. Es el movimiento el que, por así decirlo, las recorta de la masa homogénea de la extensión o espacio. Por eso las cosas no pueden existir sin que haya —incluso previamente— movimiento en el mundo.

Pero esto es metafísica. Y, por el momento, Descartes no quiere hacerla. En cierto modo, toma su mundo en una etapa posterior de su desarrollo. Hay cosas; y hay movimiento en las cosas. Esto debe bastarnos. Por eso nos dice[383]: «No me detengo a buscar la causa de sus movimientos: pues me basta pensar

---

[382] *Le monde*, pp. 33, 34. Cf. *Discours de la méthode*, A. T., vol. VI, pp. 72 ss. El Padre Daniel volvió contra Descartes la chanza cartesiana en su divertido *Voyage du monde de M. Descartes*, París. 1690.

[383] *Le monde*, pp. 11 ss.

que han comenzado a moverse tan pronto como el mundo ha comenzado a ser. Y siendo así, encuentro por mis razones que es imposible que cesen nunca sus movimientos, e incluso que cambien como no sea de objeto. Es decir, que la virtud o la potencia de moverse a sí mismo, que se encuentra en un cuerpo, puede perfectamente pasar toda o parte a otro, y así no estar ya en el primero, pero no puede ya no estar en absoluto en el mundo. Mis razones, digo, me satisfacen bastante a este respecto; pero aún no he tenido ocasión de decíroslas. Y, sin embargo, podéis imaginar, si os parece, como hacen la mayoría de los doctos, que hay algún primer móvil que, al rodar alrededor del mundo a una velocidad incomprensible, es el origen y la fuente de todos los demás movimientos que allí se encuentran». No obstante, el «primer móvil» traspuesto al nuevo mundo de Descartes desempeñaría en éste un papel muy distinto al que desempeña en el de Aristóteles. Puede muy bien —si se quiere— ser la fuente y el origen de todos los movimientos de este mundo. Pero a esto se limita su función. Una vez producido, el movimiento ya no tiene necesidad de él. Pues —y aquí está la diferencia esencial— el primer móvil no tiene que conservar el movimiento. El movimiento se conserva y se mantiene solo, sin «motor», lo que, como sabemos, es totalmente contrario a la ontología aristotélica. Pasa de un objeto a otro; «cambia» de objeto. Y gracias a él, los cuerpos poseen la virtud o la potencia de moverse a sí mismos [384].

¿Qué es este curioso ente? ¿Cuál es su *status* ontológico? Como se ve, no es el movimiento de los «filósofos». A ciencia cierta, ¿qué es el movimiento de los filósofos? «Los filósofos [385] suponen también varios movimientos, que piensan pueden ser realizados sin que ningún cuerpo cambie de lugar, como aquéllos a los que llaman *motus ad formam, motus al calorem, motus al quantitatem* (movimiento de la forma, movimiento del calor, movimiento de la cantidad), y mil otros. Y yo no conozco ninguno más que aquél que es más fácil de concebir que las líneas de los geómetras: el que hace que los cuerpos pasen de un lugar a otro y ocupen sucesivamente todos los espacios que hay entre los dos.» Podría creerse que, contrariamente a los filósofos que

---

[384] Véanse *supra*, pp. 122 ss.; cf. *Carta a Mersenne* del 28 de octubre de 1650, A. T., vol. III, p. 213: «Tiene razón al decir que se ha hecho muy mal en admitir como principio que ningún cuerpo se mueve por sí mismo. Porque lo cierto es que desde que un cuerpo comienza a moverse tiene en sí la fuerza para continuar moviéndose; de modo que desde que es detenido en algún lugar tiene la fuerza para continuar permaneciendo en él.»

[385] *Le monde*, p. 39.

admiten varios tipos de movimiento, Descartes sólo admite uno: el que los filósofos llaman «local». Pero no nos fiemos de las apariencias. En efecto, incluso en lo concerniente al movimiento local[386], los filósofos confiesan que su naturaleza les «es muy poco conocida; y para hacerla de alguna forma inteligible, no han sabido explicarla más claramente que en estos términos: *motus est actus entis in potentia, prout in potentia est,* los cuales son para mí tan oscuros que me veo obligado a dejarlos aquí en su idioma, porque no sabría interpretarlos. (Y, en realidad, estas palabras: *El movimiento es el acto de un ser en potencia en tanto que está en potencia,* no son más claras por estar en español.) Pero al contrario, la naturaleza del movimiento del que me propongo hablar aquí es tan fácil de conocer que los mismos geómetras, quienes entre todos los hombres son los que más se han consagrado a concebir de manera clara las cosas que han considerado, la han juzgado más simple y más inteligible que la de sus superficies y sus líneas: como se pone de manifiesto en el hecho de que han explicado la línea por el movimiento de un punto, y la superficie por el de una línea».

Así pues, el movimiento cartesiano, ese movimiento que es la cosa más simple y más fácil de conocer, esencia puramente inteligible que, tanto en el orden de las razones como en el orden de las cosas, viene *antes* de todas las otras esencias materiales, antes incluso de la forma espacial, ese movimiento es el de los geómetras. Señalémoslo. Es muy importante, como pronto lo veremos.

Pero precisemos. Como acabamos de ver, los filósofos distinguen —sin razón— varios tipos de movimiento y, al mismo tiempo, desconocen la naturaleza del único que Descartes reconoce como real. Creen que el movimiento es esencialmente un paso de un estado a otro, un proceso. Y por eso mismo le niegan el grado de ser que atribuyen a las cualidades y a los estados (modos). Pero, por otra parte, ven en el movimiento la actualización de un posible, el paso de la nada al ser, y por ello le atribuyen un grado de ser, o de realidad, mayor que a su contrario, la inmovilidad, la ausencia de movimiento.

Así pues[387], «atribuyen al menor de esos movimientos un ser mucho más sólido y verdadero que al reposo, del cual dicen que no es más que su privación. Pero yo creo que el reposo es también una cualidad que debe ser atribuida a la materia, mientras permanece en un lugar, como el movimiento es una cualidad que le es atribuida mientras cambia de lugar». El movimien-

[386] *Ibid.*
[387] *Le monde,* p. 40.

to cartesiano no es, pues, en forma alguna, un proceso sino una cualidad o *estado*. Y la identificación expresamente hecha por Descartes entre el *status* ontológico del movimiento y el del reposo —punto de suma importancia sobre el que volveremos— [388] explica suficientemente por qué, en el nuevo mundo construido por Descartes, la persistencia y la continuación indefinida del movimiento no tienen más necesidad de causa que la que el reposo tenía en el mundo antiguo.

Sin embargo, continúa Descartes —nos excusamos por citar tan ampliamente los textos que todo el mundo conoce, o al menos, debería conocer; pero nunca es inútil leer de nuevo a Descartes, y nunca se acaba de interpretar esos textos, hasta tal punto son ricos, densos y plenos de contenido—, «finalmente, el movimiento de que hablan es de una naturaleza tan extraña que en lugar de que todas las cosas tengan por fin su perfección, y sólo procuren conservarse, no tiene otro fin ni otra meta que el reposo; y, contra todas las leyes de la naturaleza, trata de destruirse a sí mismo [389]. Pero, por el contrario, el que yo supongo sigue las mismas leyes de la naturaleza que generalmente hacen todas las disposiciones y todas las cualidades que se encuentran en la materia; tanto las que los doctos llaman *modos et entia rationis cum fundamento in re* (modos y entes de razón con fundamento en la cosa), como las *qualitates reales* (cualidades reales) en las cuales confieso ingenuamente no encontrar más realidad que en las otras».

El movimiento, como el reposo, es un *estado*. Y como tal, obedece a las leyes generales de la naturaleza, es decir, a las leyes de la persistencia y de la conservación que Dios ha establecido para ella.

Por eso [390], «sin adentrarme más en esas consideraciones metafísicas, pondré aquí dos o tres de las principales reglas según las cuales es necesario pensar que Dios hace actuar a la naturaleza...

»La primera es: que cada parte de la materia, en particular, continúa siempre estando en un mismo estado, mientras que el encuentro con las otras no le obligue a cambiarlo. Es decir, que si esa parte tiene cierto grosor jamás se hará más pequeña si las otras no la dividen; si es redonda o cuadrada jamás cambiará de figura si las otras no la obligan a hacerlo; si está quieta en al-

---

[388] Cf. *supra*, pp. 121 ss. y pp. 150 ss.

[389] *Le monde*, p. 40; véase *supra*, p. 33. Descartes interpreta mal la doctrina escolástica: no es el *movimiento* el que tiende al reposo, sino el *móvil*, lo que es distinto. Pero la mala interpretación cartesiana es reveladora: verdaderamente Descartes no comprende el movimiento de los filósofos.

[390] *Le monde*, p. 38.

gún lugar jamás partirá de allí a menos que las otras la expulsen; y una vez que ha comenzado a moverse continuará siempre, con igual fuerza, hasta que las otras la detengan o la retarden». Como se ve, todo cambio tiene necesidad de una causa. Aún más: para Descartes, que ha proscrito de la naturaleza todas las formas —cualidades o fuerzas— de la física tradicional, todo cambio tiene necesidad de una causa exterior (eso es, diría Aristóteles: todo movimiento tiene necesidad de un motor). Por eso ningún cuerpo puede cambiar y modificarse por sí mismo, espontáneamente. Y no puede espontáneamente modificar su estado. No puede, en particular, *ponerse en movimiento por sí mismo*[391]. Mas estando en movimiento, permanece en movimiento. Por sí mismo no puede detenerse: el movimiento, en efecto, ya no es un cambio. Claro está, el móvil cambia de lugar, pero ¿es esto, en el mundo cartesiano, todavía un cambio?[392].

«No hay nadie[393] que no crea que en lo tocante al grosor, la figura, el reposo y mil cosas similares se observa esta misma regla en el mundo antiguo; pero los filósofos han exceptuado de ella al movimiento que, no obstante es la cosa que más expresamente deseo incluir. Y no pensad por esto que tengo la intención de contradecirles: el movimiento de que hablan es tan diferente del que yo concibo que fácilmente puede ocurrir que lo que es verdad para el uno no lo sea para el otro.»

Lo dijimos anteriormente y no podemos menos de repetirlo[394]: «Descartes tiene razón: su movimiento-estado, el movimiento de la física clásica, no tiene nada en común con el movimiento-proceso de la física de Aristóteles y de la escolástica. Y esa es la razón por la que los cuerpos obedecen en su ser a leyes completamente diferentes: mientras que en el bien ordenado Cosos de Aristóteles el movimiento-proceso tiene, de *manera evidente,* necesidad de una causa que lo mantenga, en el mundo-extensión de Descartes el movimiento-estado se mantiene, *evidentemente,* por sí mismo y se prosigue indefinidamente en línea recta en el infinito del espacio plenamente geometrizado que la filosofía cartesiana ha abierto ante él».

Pero no vayamos demasiado aprisa. Todavía no hemos agotado —ni de lejos— la esencia particular del movimiento cartesiano.

Como hemos dicho, el movimiento es un estado. Pero además —y en primer lugar— es una cantidad. En el mundo existe

---

[391] Por eso el Dios cartesiano se ve obligado a crear el movimiento por un acto especial de su voluntad. No le basta con crear la materia.

[392] Cf. E. Meyerson, *Identité et réalité,* pp. 123 ss.

[393] *Le monde,* p. 38.

[394] Véase *supra,* p. 122.

una cantidad determinada de movimiento. Y cada cuerpo que se mueve posee una, perfectamente determinada también. Así pues, en todas las acciones, es decir en todos los «pasos» del movimiento de un móvil a otro, o, expresado en lenguaje cartesiano, cada vez que el movimiento cambia de objeto —lo que sólo es posible por encuentro o contacto— obedece a la siguiente regla[395]: «Cuando un cuerpo empuja a otro no podrá darle ningún movimiento sin que al mismo tiempo pierda otro tanto del suyo; ni quitárselo sin que el suyo aumente otro tanto. Esta regla, junto con la precedente, se ajusta muy bien a todas las experiencias en las cuales vemos que un cuerpo comienza o cesa de moverse porque es empujado o detenido por algún otro. Pues, habiendo supuesto la precedente, quedamos exentos de la dificultad en que se encuentran los Doctos cuando quieren explicar por qué la piedra continúa moviéndose algún tiempo luego de salir de la mano del que la ha lanzado: pues más bien se nos debe preguntar por qué no continúa moviéndose siempre. Mas el motivo es fácil de encontrar, pues ¿quién puede negar que el aire en el que se mueve le ofrece alguna resistencia?». De donde resulta que la vieja pregunta: *a quo moveantur projecta?*, que tanto ha preocupado a los doctos y tanta tinta ha hecho correr, recibe su solución definitiva y muy simple: *a motu*, o *a seipso* o, si se prefiere, *a nihilo*, puesto que la continuación del movimiento de los *projecta* está implícita en el hecho mismo de su movimiento. Solución que nos muestra que este célebre problema era simplemente un falso problema. Una pregunta mal planteada. De donde de inmediato se desprende que, si se suprime la resistencia exterior (del aire, etc.), el móvil, al conservar su movimiento, no se detendrá, e incluso no disminuirá jamás de velocidad.

Sin embargo, señalemos que resistir al movimiento de un móvil significa recibir o, si se prefiere, absorber movimiento. Pues el cuerpo sólo se detiene o incluso disminuye su movimiento si puede cederlo —todo o parte— a otro. El movimiento, es decir, la cantidad de movimiento, es constante en el mundo. Por eso[396], «si se deja de explicar el efecto de la resistencia según nuestra segunda regla, y se piensa que cuanto más pueda resistir un cuerpo más capaz será de detener el movimiento de los otros, como quizá en un principio se pueda suponer, de nuevo será difícil explicar por qué el movimiento de esta piedra se amortigua más cuando da con un cuerpo blando cuya resistencia es mediana de lo que lo hace cuando da con otro un poco duro y que

[395] *Le monde*, p. 41.
[396] *Le monde*, p. 41.

le resiste más. Como también por qué, tan pronto como hace un poco de esfuerzo contra este último, se vuelve atrás al instante, como sobre sus pasos, en vez de detenerse o interrumpir su movimiento por su causa. Mientras que, suponiendo esta regla, no hay ninguna dificultad en esto: pues la regla nos enseña que el movimiento de un cuerpo no es retardado por el encuentro con otro en la proporción en que éste le resiste, sino sólo en la proporción en que la resistencia es superada y que, obedeciendo a ello, recibe en sí la fuerza para moverse que el otro deja».

Es muy profundo. Es también muy ingenioso. La concepción cartesiana, digámoslo de paso, permitiría explicar el fenómeno de la resistencia al movimiento del cuerpo inmóvil; fenómeno que tanto había sorprendido a Kepler y que, mal comprendido por éste, le había llevado a formular su concepción de la *inercia* interna y esencial de la materia [397]: el cuerpo, en cuanto tal, no resiste en modo alguno al movimiento; lo absorbe y lo toma del que lo empuja. En todo caso, esa concepción permite a Descartes explicar, como veremos más adelante, el fenómeno del rechazo del cuerpo después del choque; y ello en una física que no deja margen alguno a la elasticidad [398].

Pero volvamos al pasaje que acabamos de citar. Descartes parece recurrir a la experiencia para justificar su concepción. No nos engañemos, sin embargo: Descartes sabe muy bien que la experiencia, al menos la experiencia cotidiana, la experiencia bruta, no puede servirnos para establecer los verdaderos fundamentos de la física. Al contrario. La experiencia nos muestra cuerpos que, lejos de continuar indefinidamente su movimiento, se detienen apenas lanzados; ella no puede sino alimentar nuestros prejuicios. No es ella, sino la razón, la que nos descubre la verdad, pues [399] «aunque todo lo que nuestros sentidos han experimentado siempre en el verdadero mundo pareciera manifiestamente contrario a lo que está contenido en estas dos reglas, la razón que me las ha enseñado me parece tan fuerte que no dejaría de creerme en la obligación de suponerlas en el nuevo que os describo. Porque ¿qué fundamento más firme y sólido podría encontrarse para establecer una verdad, aunque se qui-

---

[397] Véase *supra*, p. 188.

[398] La física cartesiana sólo admite cuerpos rígidos, lo que hace imposible el choque. Por eso Huyghens, por muy cartesiano que fuese, se vio obligado a postular la elasticidad. Y de ese modo a ser infiel a Descartes. Sobre la física de Huyghens, cf. el libro ya citado de Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, París, 1934.

[399] *Le monde*, p. 43.

siera escoger a medida de los deseos, que tomar la firmeza misma y la inmutabilidad que está en Dios?».

Como de sobra sabemos, para Descartes la inmutabilidad divina no puede ser otra cosa que el fundamento metafísico de las leyes de conservación. Por eso prosigue[400]:

«Ahora bien, estas dos reglas se desprenden manifiestamente de que Dios es inmutable y de que el actuar siempre del mismo modo produce siempre el mismo efecto. Porque suponiendo que haya puesto cierta cantidad de movimiento en toda la materia en general, desde el primer instante en que la creó, es preciso reconocer que conserva siempre la misma, o no creer que actúa siempre del mismo modo. Y suponiendo con ello que desde ese primer instante las diversas partes de la materia, en las que esos movimientos resultaron desigualmente dispersos, comenzaron a retenerlo o a transferirlo de una a otra según la fuerza que pudieran tener, hay que pensar necesariamente que les hace continuar siempre de la misma forma. Y eso es lo que contienen estas dos reglas.»

Así pues, el movimiento se conserva. Pero ¿qué movimiento? Beeckman, de quien Descartes aprendió esta ley fundamental[401] (que, al igual que Beeckman, no creía a la sazón que debiera ser atribuida a la inmutabilidad divina), admitía sin duda la conservación del movimiento rectilíneo. Pero también la del movimiento circular[402]. Además, Beeckman, y tras él Descartes, sólo admitían la ley de la conservación del movimiento para el movimiento *en el vacío*. Ahora bien, en la época del *Mundo*, Descartes ya no acepta la existencia, ni siquiera la posibilidad, del vacío —único medio en el cual es posible el movimiento rectilíneo; y, sin embargo, es al movimiento rectilíneo al que limita en adelante la ley de la conservación. De este modo, cosa curiosa, formula Descartes el principio de inercia en el mismo momento en que los fundamentos recién adquiridos de su física hacen su realización rigurosamente imposible. Descartes, por lo demás, se da perfecta cuenta de ello. Por eso nos dice que no se trata del movimiento real, efectivo, de los cuerpos, sino de su «acción» o «inclinación» al movimiento.

«Para la tercera, añadiré[403]: que cuando un cuerpo se mueve, aunque su movimiento se haga la mayoría de las veces en línea curva, y aunque nunca pueda hacerse ninguno que no sea en

---

[400] *Ibid.*

[401] Véase *supra*, pp. 98 ss. Cf. *Correspondance du R. P. Marin Mersenne*, vol. III, pp. 600 ss., París, 1936.

[402] Véase *supra*, p. 114, n. 97.

[403] *Le monde*, p. 43.

alguna forma circular, como se ha dicho anteriormente[404], cada una de sus partes en particular tiende siempre a continuar el suyo en línea recta. Y de este modo su acción, es decir, la inclinación que tienen a moverse es diferente de su movimiento.» ¿Qué es esta «acción» o «inclinación» a moverse que Descartes declara diferente del movimiento de los cuerpos? ¿Será, por casualidad, una fuerza interna, un *impetus?* De ningún modo. La «acción» o la «inclinación a moverse» no es otra cosa que el movimiento mismo; el movimiento que dura y se conserva y pasa de un objeto a otro; es el estado del movimiento, que Descartes distingue, con mucha razón, del movimiento consumado, acabado, que comporta una traslación efectiva y efectuada, un cambio de sitio o de lugar. Es el estado del movimiento, acabamos de decir; estado que dura pero que, a la inversa, existe en el instante, lo que antaño llamara Descartes «punto de movimiento» o «momento»[405]. Es ese movimiento puntual (diferencial del movimiento) el que siempre está dirigido en línea recta[406]:

«Por ejemplo, si se hace girar una rueda sobre su eje, aunque todas sus partes vayan en círculo —porque al estar unidas una a la otra no podrían ir de otra forma— su propensión, no obstante, es ir recto, como claramente se manifiesta si, por casualidad, alguna se desprende de las otras; pues tan pronto como se encuentra en libertad su movimiento deja de ser circular, y se continúa en línea recta.» Acordémonos de los largos razonamientos utilizados por Galileo para demostrar que la fuerza centrífuga es una fuerza tangencial[407], y comparémoslos con la simple observación con la que se contenta Descartes[408]:

«Del mismo modo, cuando se hace girar una piedra en una honda, no sólo va recta tan pronto como sale de ella, sino que, además, durante todo el tiempo que está en la honda, presiona el centro de la honda y hace tensar la cuerda: mostrando evidentemente con ello... que no va en círculo si no es forzada.» Una vez más nos excusamos por insistir, y por citar. Pero ¿no es acaso preciso, para hacer sentir la distancia que nos separa de la obra —estrictamente contemporánea— de Galileo? El privilegio milenario del movimiento circular no había sido jamás negado tan simple y resueltamente[409].

«Esta regla se apoya sobre el mismo fundamento que las otras dos, y sólo depende de aquello de que Dios conserva cada

---

[404] Cf. *Le monde*, pp. 19, 20.
[405] Véanse *supra*, p. 107, n. 82, y p. 109.
[406] *Le monde*, p. 44.
[407] Véanse *supra*, pp. 253 ss.
[408] *Le monde*, p. 44.
[409] *Le monde*, p. 44.

cosa por una acción continua y, por consiguiente, que no la conserva tal como pudo haber sido algún tiempo atrás, sino precisamente tal como es en el mismo instante en que la conserva. Ahora bien, sucede que, de todos los movimientos, *el rectilíneo es el único enteramente simple y el único cuya naturaleza se comprende toda en un instante*[410]. Pues, para concebirlo, basta con pensar que un cuerpo está en acción para moverse hacia cierto lado, lo que ocurre en cada uno de los instantes que pueden ser determinados durante el tiempo que se mueve. Mientras que para concebir el movimiento circular, o cualquier otro, hay que considerar por lo menos dos de sus instantes, o más bien dos de sus partes, y la relación que existe entre ambas.»

Detengámonos aquí un momento. El pasaje que acabamos de citar nos parece de capital importancia. Creemos que nos permite comprender por qué Descartes triunfó allí donde había fracasado Galileo; dicho de otro modo, por qué llegó Descartes a formular el principio de inercia, cosa que, como hemos visto, Galileo no hizo ni podía hacer.

Sin duda la razón última se encuentra en el radicalismo del pensamiento cartesiano, que realiza exactamente el programa que nos trazara el *Saggiatore* y que reduce lo real a lo matemático —a lo geométrico— excluyendo de la constitución del cuerpo físico *todo* lo que va más allá de su constitución esencial; todo, es decir, también y —sobre todo— la pesantez. Como ya dijimos, Galileo se pregunta: ¿cómo procede en realidad la naturaleza? Descartes: ¿cómo *debe* constituirse y actuar? Galileo, físico al igual —si no más— que geómetra, se detiene ante el hecho, se somete a lo real; Descartes, matemático ante todo, se niega a reconocer el hecho. Por eso nos dice Galileo[411] que no es asunto suyo saber *si* Dios hubiera podido hacer un mundo infinito; le basta con saber que *en realidad* no lo hizo. Pero Descartes, al contrario, nos explica que Dios *no podía* dejar de crearlo infinito, simplemente porque la finitud del espacio es absurda.

En el fondo, esto podría bastar. Los cuerpos galileanos, que como hemos visto son *graves*, no se pueden mover en línea recta en cualquier dirección. Necesaria y naturalmente son llevados hacia «*abajo*». Y, además, no pueden en realidad continuar indefinidamente su movimiento: la finitud *real* del mundo se opone a ello. No hay nada de esto en Descartes. Sus cuerpos, cuerpos euclidianos y ya no arquimedianos, no son llevados ni atraídos a ninguna parte. No tienen ya ninguna tendencia ni

---

[410] El subrayado es nuestro.
[411] Cf. *supra*, p. 199, n. 111.

cualidad interna. No tienen ninguna relación —excepto la espacial— con sus vecinos; no los atraen ni los buscan. Por eso pueden continuar indefinidamente *en la misma dirección* su movimiento, una vez comenzado.

Sin duda, de hecho no lo pueden hacer. Sin duda, un movimiento no se efectúa nunca en línea recta (de no ser por medios mecánicos). Pero esto, para Descartes, no tiene importancia alguna. Como acabamos de ver, su movimiento está íntegro *en el instante*. Víctima, y beneficiario esta vez, de lo que hemos llamado geometrización a ultranza, olvida —cosa de la que se había acordado Galileo y por la que fue recompensado con la solución del problema de la caída— la relación esencial entre el movimiento y el tiempo [412].

Podría sin duda decirse que en Galileo el movimiento se concentra igualmente en el instante; e incluso que uno de sus grandes méritos consistió en haber sabido formular la noción de momento, velocidad instantánea, elemento (o diferencial) del movimiento; noción de la que hemos afirmado que es idéntica a la noción cartesiana del «momento» [413]. Y se podría añadir que Descartes no dice que el movimiento pudiera realizarse sin emplear tiempo, o que pudiera realizarse en un solo instante; más aún, lo niega expresamente, y [414] «a fin de que los filósofos, o más bien los sofistas, no aprovechen aquí la ocasión para ejercer sus sutilezas superfluas», Descartes nos pide que observemos que «no dice con esto que el movimiento rectilíneo se pueda hacer en un instante, sino solamente que todo lo que se requiere para producirlo se ncuentra en los cuerpos en cada instante que pueda ser determinado mientras se mueven, y no todo lo que se requiere para producir el circular». No por ello resulta menos cierto que el movimiento cartesiano —tal y como él mismo nos lo presenta— no tiene sino una relación indirecta con el tiempo; y que, por lo mismo, la concepción cartesiana difiere de la de Galileo.

El movimiento del que Descartes nos había dicho que era el único que conocía, *el movimiento de los geómetras*, es ante todo una traslación. Y es lo que siempre será. Ahora bien, el movimiento galileano, o si, se prefiere, el movimiento tal como lo ve Galileo, es ante todo una velocidad. Sin duda toda traslación se hace a cierta velocidad, y toda velocidad implica una traslación; por eso los últimos elementos de que se compone el movimiento son equivalentes en Galileo y Descartes. Sin embargo,

---

[412] Cf. *supra*, pp. 128 ss.
[413] Cf. *supra*, p. 129, n. 135.
[414] *Le monde*, p. 45.

velocidad y traslación no son la misma cosa; y no es indiferente el hecho de poner el acento sobre uno u otro de estos aspectos del movimiento. Pues, como acabamos de decir, no es cierto que toda traslación implique una velocidad; la traslación real, sí, pero no la traslación geométrica.

El «movimiento» del punto que forma la línea, el «movimiento» de la línea que forma el plano, son «movimientos» que no tienen velocidad. Y al no tener velocidad no están en el tiempo. Ahora bien, Descartes toma estos movimientos intemporales como modelo para su noción del movimiento, noción que según él es simple y fácil; la más simple, la más fácil, la más clara de nuestras ideas. Sin duda. Lo que da oscuridad a la noción de movimiento es precisamente su conexión con la de tiempo. Y se comprende que los filósofos que estudiaron el movimiento *temporal*, no pudieran definirlo sino de forma muy oscura. Y que Descartes, al haber eliminado de su movimiento el tiempo, y reemplazado el *devenir* por el *ser*, no encuentre ya rastro alguno de oscuridad.

Pero ¿se puede hablar de movimiento geométrico? El movimiento intemporal ¿sigue siendo movimiento? Dicho de otro modo; ¿qué queda del movimiento del que se «elimina» el tiempo? ¿Es que queda algo?

Eliminar el tiempo, ¿no es detener el movimiento? Sin duda alguna: detenerlo o desplegarlo. Por eso, lo que queda del movimiento del que se ha suprimido el carácter temporal es justamente lo que es inmóvil en él: posición, dirección, trayectoria, relación funcional. La geometrización a ultranza a la que sucumbe Descartes deshace la obra del tiempo —imagen móvil de la eternidad inmóvil—, y nos presenta una imagen inmóvil y acabada del inacabamiento esencial del movimiento. Pero también permite a Descartes comprender lo infinito del movimiento en el instante.

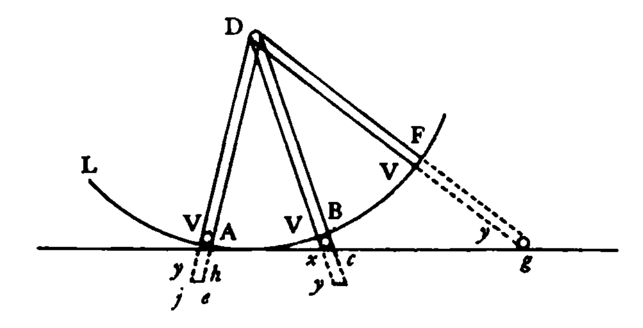
Reemplazar el movimiento por la trayectoria es muy grave. E incluso muy peligroso. Conduce algunas veces al error [415]. Sin embargo, otras veces conduce a la verdad. En efecto, resulta muy difícil saber, por ejemplo, cuál es más sencillo, si el movimiento circular o el rectilíneo, pero es muy fácil ver que la recta es más sencilla que la circunferencia [416], que la circunferencia, como toda curva, es una recta que se ha curvado, y que, por lo tanto, el movimiento que sigue una línea recta y que en

---

[415] Cf. *supra*, pp. 78 ss., y pp. 106 ss.

[416] Esto es sencillo sobre todo para Descartes: la ecuación de la circunferencia es un grado superior a la de la recta.

cada punto tiene la misma dirección es más sencillo que aquél que describe un círculo y que, en cada punto debe cambiar de dirección. Y entonces no es necesario discutir mucho para comprender que[417] «si, por ejemplo, una piedra se mueve en una honda siguiendo el círculo AB y la consideráis tal como es precisamente en el instante en que llega al punto A, encontraréis que está en acción para moverse, pues no se detiene allí, y para moverse hacia cierto lado, a saber hacia C, pues hacia allí está determinada su acción en este instante; pero no podréis encontrar allí nada que haga que su movimiento sea circular. De suerte que, suponiendo que comience en ese momento a salir de la honda y que Dios continúe conservándola tal como es en ese momento, es indudable que no la conservará con propensión a ir circularmente siguiendo la línea AB, sino a ir todo recto hacia el punto C».



Así pues, es la geometrización a ultranza la que facilita a Descartes la victoria de la recta sobre la circunferencia. Victoria que, por otra parte, se apresura a basar curiosamente en Dios[418]. «Luego, siguiendo esta regla, hay que decir que únicamente Dios es el autor de todos los movimientos que son en el mundo, en cuanto son, y en cuanto son rectos; y que son las distintas disposiciones de la materia las que los hacen irregulares y curvos. Como nos enseñan los teólogos que Dios es también el autor de todas nuestras acciones, en cuanto son y en cuanto encierran alguna bondad, pero que son las diversas disposiciones de nuestras voluntades las que pueden hacerlas viciosas.»

---

[417] *Le monde*, pp. 45 ss.
[418] *Le monde*, p. 46.

b) *Los Principios*

En lo que concierne al problema que nos interesa —el descubrimiento y formulación del principio de inercia—, los *Principios* no aportan gran cosa de nuevo. Y lo que aportan no es siempre un progreso. Salvo en el orden. Así, la infraestructura y el fundamento epistemológico y metafísico de la física están desarrollados expresa y sistemáticamente y puestos en su lugar al principio de la obra; la exposición se hace más nítida, más sobria, más precisa, más detallada; más escolar, para decirlo todo. La indolencia espontánea del *Mundo* ha desaparecido. Esto es comprensible: los *Principios* son una segunda edición que no se dirige al mismo público. En efecto, la primera se dirigía al *hombre honrado;* la segunda es un manual que se dirige a las escuelas.

Además, en el tiempo transcurrido desde 1630, Descartes ha madurado. Y su posición en el mundo se ha modificado. Ya no es el desconocido de antaño; ahora es el célebre, el gran filósofo admirado por unos y combatido por otros. Es jefe de escuela. Pues bien, esto, necesariamente, implica un cambio de tono. Finalmente —cosa muy importante—, Descartes, más mayor, se ha hecho más prudente. Incluso, para el gusto de algunos, demasiado prudente. La historia de Galileo, sus propias historias... Descartes se siente obligado a tomar precauciones. Con bastante torpeza, por otra parte. Pues si el copernicanismo que con tanta prodigalidad se exponía en el *Mundo* ha desaparecido de los *Principios* o, más exactamente, si está encubierto en ellos por una extraña y curiosa teoría del movimiento, la infinitud del mundo, por el contrario, está allí afirmada de modo expreso[419].

«Sabremos también que este mundo o la materia extensa que compone el Universo no tiene límites, por cuanto que, fuera cual fuere la parte de él que quisiéramos suponer, podemos imaginar más allá aún espacios indefinidamente extensos, que no sólo imaginamos, sino que concebimos que son tales como los imaginamos: de tal forma que contienen un cuerpo indefinidamente extenso, pues... la idea de la extensión que concebimos en el espacio que sea es la idea verdadera que debemos tener del cuerpo.»

En los *Principios,* las leyes fundamentales de la naturaleza son las mismas que en el *Mundo;* y las dos redacciones no difieren sino por el orden en que están presentadas, y también por la

---

[419] *Principes de philosophie,* II, 21 (A. T., vol. IX, 2, p. 47).

mayor insistencia, en los *Principios*, en la infraestructura metafísica de esas leyes.

Bien mirado, el orden que siguen los *Principios* —Descartes invierte el lugar de la segunda y la tercera reglas— es más lógico que el adoptado en el *Mundo*. Ahora, las leyes de la naturaleza están ordenadas de acuerdo al grado de especificación creciente. Así pues, la primera regla establece la ley de la conservación del movimiento, la segunda precisa que se trata del movimiento rectilíneo y finalmente la tercera determina las leyes de la comunicación de los movimientos.

La primera ley, o regla, de la naturaleza, se apoya, como en el *Mundo*, en el principio general de la conservación[420]. «Por aquello de que Dios no está sujeto a cambio y siempre actúa del mismo modo, podemos llegar al conocimiento de ciertas reglas, que denomino leyes de la naturaleza y que son las causas segundas... de los distintos movimientos que observamos en todos los cuerpos; lo que aquí las hace ser muy importantes. La primera es que cada cosa en particular... continúa estando en el mismo estado en lo posible, y que sólo lo cambia por el encuentro con las otras. Así vemos todos los días que cuando alguna parte de esta materia es cuadrada... sigue siendo siempre cuadrada, a menos que suceda algo que cambie su figura; y que si se encuentra en reposo... no comienza a moverse por sí misma. Pero una vez que ha comenzado a moverse, no tenemos razón alguna para pensar que deba cesar de moverse por su propia fuerza... mientras no encuentre nada que retarde o detenga su movimiento. De modo que debemos concluir que una vez que un cuerpo ha comenzado a moverse continúa moviéndose y nunca se detiene por sí mismo.» Como en el *Mundo*, Descartes nos explica que la creencia contraria, es decir, la creencia en la detención espontánea del cuerpo en movimiento, no es más que un prejuicio basado en experiencias mal comprendidas «que se opone manifiestamente a las leyes de la naturaleza; pues el reposo es contrario al movimiento y nada se dirige por instinto de su naturaleza a su contrario, o a su propia destrucción»[421].

Lo mismo que en el *Mundo*, Descartes estima que esta primera ley se encuentra, al contrario, confirmada por la experiencia cotidiana bien comprendida; y que, por lo mismo, el problema *a quo moveantur projecta* queda resuelto[422]: «Vemos todos los días la prueba de esta primera regla en las cosas que se empujan lejos. Pues no hay otra razón para que continúen... movién-

---

[420] *Principes*, II, 37 (A. T., vol. IX, 2, p. 84).
[421] *Principes*, II, 37 (p. 85).
[422] *Principes*, II, 38 (p. 85).

dose, cuando están fuera de la mano de aquél que las ha empujado si no es que, según la ley de la naturaleza, todos los cuerpos que se mueven continúan moviéndose hasta que su movimiento es detenido por algunos otros cuerpos... Y es evidente que el aire y los otros cuerpos fluidos, entre los cuales vemos que esas cosas se mueven, disminuyen poco a poco la velocidad de su movimiento».

La segunda ley, igualmente deducida de la inmutabilidad divina, también estará confirmada por la experiencia[423]. «La segunda ley que observo en la naturaleza es que cada parte de la materia, en su particular, nunca tiende a continuar moviéndose siguiendo líneas curvas, sino siguiendo líneas rectas, aunque con frecuencia varias de esas partes se vean obligadas a desviarse porque encuentran a otras en su camino, y que... cuando un cuerpo se mueve se hace siempre un círculo o anillo de la materia que se mueve conjuntamente. Esta regla, como la precedente, depende de aquello de que Dios es inmutable y conserva el movimiento en la materia por una operación muy simple; pues no lo conserva tal como pudo ser algún tiempo antes, sino como es precisamente en el mismo instante en que lo conserva. Y aunque sea cierto que el movimiento no se realiza en un instante, es evidente, no obstante, que todo cuerpo que se mueve... está determinado a moverse siguiendo una línea recta y no una circular...; pues cuando la piedra A gira en la honda EA siguiendo el círculo ABF, en el instante en que está en el punto A, está determinada a moverse hacia algún lado, a saber, hacia C, siguiendo la línea recta AC, si se supone que es ésta la que toca el círculo. Pero no podría suponerse que está determinada a moverse circularmente, porque aunque haya venido de L a A siguiendo una línea curva, no concebimos que haya ninguna parte de esta curvatura en esta piedra cuando está en el punto A[424]; y la experiencia nos lo garantiza, porque la piedra avanza recta hacia C cuando sale de la honda, y de ninguna forma tiende a moverse hacia B. Lo que nos permite ver claramente que todo cuerpo que es movido en círculo tiende sin cesar a alejarse del círculo que describe. Y lo podemos incluso sentir en la mano, mientras hacemos girar la piedra en la honda»[425].

Como se puede apreciar, la formulación y la deducción de las dos primeras leyes de la naturaleza no difieren de las que

---

[423] *Principes*, II, 39 (p. 85).

[424] Sin duda nadie imaginó que hubiera curvatura en la piedra... Descartes *aísla* la piedra del resto del mundo y considera el movimiento en el instante.

[425] Véase el dibujo de la p. 318.

había dado el *Mundo;* simplemente el estilo es un poco más sobrio, un poco más apagado, un poco más pobre. Pero el enunciado de la tercera aporta nuevas precisiones sobre la comunicación y el intercambio de los movimientos y establece sus reglas concretas (casi todas falsas, por lo demás)[426]: «La tercera ley que observo en la Naturaleza es que si un cuerpo que se mueve y se encuentra con otro tiene menos fuerza para continuar moviéndose en línea recta que ese otro para resistirle, pierde la determinación, sin perder nada de su movimiento; y que, si tiene más fuerza, mueve consigo a ese otro cuerpo, y pierde tanto de su movimiento como le da. Así pues, vemos que un cuerpo duro, al que hemos empujado contra otro mayor que es duro y firme, rebota hacia el lado de donde ha venido, y no pierde nada de su movimiento; pero que si el cuerpo con el que se encuentra es blando, se detiene al instante, porque le transfiere su movimiento...».

Como es bien sabido, las reglas concretas de la comunicación de los movimientos dadas por Descartes son casi todas falsas; pero como repetidas veces hemos dicho, los errores de un Descartes son tan interesantes e instructivos como sus descubrimientos. Por eso tendremos que volver sobre este tema y preguntarnos la razón del error cartesiano, error que, a nuestro parecer, fue con mayor frecuencia refutado que explicado, si es que alguna vez lo fue enteramente[427].

Pero, por el momento, otra es la pregunta que surge ante nosotros, a saber, ¿qué movimiento es ese cuyas leyes nos enuncia Descartes? Pues, como acabamos de mencionar, los *Principios* no nos presentan exactamente la misma concepción del movimiento que habíamos encontrado en el *Mundo.* El *Mundo* partía de una concepción puramente geométrica. Los *Principios* tratan de darnos una definición física, basada en el principio de la relatividad del movimiento. Por eso —y por otras razones más— la definición cartesiana no se opone tan violentamente como antaño a la definición escolástica, sino que está estrechamente ligada a ella[428]. «El movimiento (a saber, el que se hace de un lugar a otro, pues no concibo más que éste, y tampoco pienso que haga falta suponer otro en la naturaleza), el movimiento, pues, tal como se le toma de ordinario, no es sino *la acción mediante la cual un cuerpo pasa de un lugar a otro.* Y así

---

[426] *Principes,* II, 40 (pp. 86 y ss.).

[427] El papel desempeñado por Beeckman no parece haber sido despreciable. Cf. *Correspondance du R. P. Marin Mersenne,* publicada por Cornélis de Waard, vol. II, pp. 600 ss.

[428] Cf. P. Duhem, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif,* Montligeon, 1907, pp. 179 ss.

como hemos observado que una misma cosa al mismo tiempo cambia de lugar y no cambia[429], así también podemos decir que al mismo tiempo se mueve y no se mueve...»[430]. «Pero si en lugar de detenernos en lo que no tiene otro fundamento que el uso ordinario deseamos saber qué es el movimiento conforme a la verdad, diremos, a fin de atribuirle una naturaleza que esté determinada, que *es el transporte de una parte de la materia o de un cuerpo, de la vecindad de aquellos que lo tocan inmediatamente, y que consideramos como en reposo, a la vecindad de algunos otros*... Y digo que es el transporte y no la fuerza o acción que transporta, a fin de mostrar que el movimiento está siempre en el móvil y no en el que lo mueve»[431]. Y «puesto que aquí no se trata de la acción que está en el que mueve o detiene el movimiento..., es evidente que ese transporte no es nada fuera del cuerpo que es movido; sino solamente que un cuerpo está dispuesto de otro modo, cuando es transportado, que cuando no lo es; de manera que el movimiento y el reposo no son en él más quc dos distintos *modos*...»[432]. Además, Descartes afirma «que el movimiento en su propia significación no se refiere más que a los cuerpos que tocan a aquél del que se dice que se mueve» e incluso que sólo se refiere a aquellos cuerpos «que consideramos en reposo»[433]. Pues es «recíproco...»[434].

P. Mouy, uno de los más recientes y sagaces historiadores de la física cartesiana, resume muy bien estos pasajes en los que se desarrolla y afirma la noción más rigurosa de la relatividad del movimiento: «Por consiguiente, el movimiento no es *un ser*, sino un «modo» del cuerpo transportado: es totalmente relativo y puramente cinético; tras él no hay ninguna fuerza oculta»[435]. Entonces, ¿cómo es que no siendo un ser, sino un simple «modo», se conserva en el mundo ese movimiento? Descartes nos lo dice, e incluso, en comparación con el *Mundo*, con gran precisión.

«Después de haber examinado la naturaleza del movimiento, es necesario que consideremos su causa, y puesto que puede ser

[429] Descartes pone el ejemplo del «hombre sentado en la popa de un navío que el viento lleva fuera del puerto», el cual se mueve con relación a la tierra sin moverse con relación al navío.

[430] *Principes*, II, 24 (p. 75).

[431] *Principes*, II, 26 (p. 76). Esto se opone a la doctrina escolástica, según la cual el movimiento está en el motor tanto e incluso más que en el móvil.

[432] *Principes*, II, 27 (p. 77).

[433] *Principes*, II, 29 (p. 78).

[434] *Principes*, II, 29 (p. 78).

[435] Véase P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, París, 1934, p. 19.

tomada de dos formas, comenzaremos por la primera y más universal que por lo general produce todos los movimientos que hay en el mundo; después consideraremos la otra..., que hace que cada parte de la materia adquiera el que no tenía anteriormente. En lo que concierne a la *primera*, me parece evidente que no hay otro que Dios, quien *en su omnipotencia* creó la materia con el movimiento y el reposo, y, con su asistencia ordinaria, conserva ahora en el Universo tanto movimiento y reposo como puso al crearlo. Pues, aunque el movimiento no sea más que un *modo* en la materia que se mueve, tiene, no obstante, una cierta cantidad... que no aumenta ni disminuye nunca, aunque haya ora más ora menos en algunas de sus partes. Por eso, cuando una parte de la materia se mueve dos veces más deprisa que otra, siendo esta otra dos veces mayor que la primera, debemos pensar que hay tanto movimiento en la menor como en la mayor; y que siempre que el movimiento de una parte disminuye, aumenta en proporción el de alguna otra parte» [436].

Así pues, sería éste un movimiento recíproco, relativo y puramente cinético que, creado por Dios y mantenido por él en el mundo, se conservaría eternamente con la misma cantidad. Descartes nos lo dice formalmente. Y, sin embargo..., Mouy, que ha estudiado muy bien las leyes del choque propuestas por Descartes, observa, muy acertadamente, que «la manera de conservar el movimiento [allí] está en total desacuerdo con la relatividad que en principio le había atribuido Descartes» [437]. Ahora bien, el error de Descartes no sólo se explica por el hecho de que Descartes «quiere ajustarse a la experiencia, utilizando nociones que son demasiado sencillas todavía para adaptarse a ella» [438], sino también, e incluso sobre todo, por el hecho de que el propio Descartes no tomó nunca en serio ni empleó nunca como base de sus deduciones la noción relativista que acaba de exponer con tanto detalle. En efecto, la relatividad cinética del movimiento no sólo se revela incompatible con las leyes del choque. Lo es ya con la de la conservación del movimiento, entendida, como quiere entenderla expresamente Descartes, como conservación de la *cantidad* de movimiento; pues es evidente que si se atribuye —cosa a la que nos darían derecho la reciprocidad y la relatividad cinética— *la misma velocidad* ora al cuerpo

[436] *Principes*, II, 36 (p. 83).

[437] P. Mouy, *op. cit.*, p. 22.

[438] P. Mouy, *op. cit.*, p. 22. El fenómeno del choque no es, por otra parte, sencillo sino en apariencia —esto es lo que quiere decir Mouy—, y el gran mérito de Huyghens (cf. Mouy, *op. cit.*, pp. 192 ss) fue desembrollar su complejidad real y, de este modo, echar abajo la construcción cartesiana.

grande ora al pequeño que se alejan o se acercan el uno al otro, se obtendrán *cantidades de movimiento* muy diferentes. Ahora bien, no se puede admitir que Descartes permaneciera insensible a contradicciones tan flagrantes; ni que se le pasaran inadvertidas.

El ultrarrelativismo de su noción del movimiento no es original en Descartes. No la adopta —creemos— sino para poder conciliar la astronomía copernicana, o, más simplemente, la movilidad de la tierra, visiblemente implícita en su física [439], con la doctrina oficial de la Iglesia. Esfuerzo que no condujo más que a hacer contradictoria y confusa la mecánica cartesiana. Ahora bien, si la mecánica cartesiana es falsa, no es contradictoria, y las leyes —sin duda inexactas— del choque que formula Descartes se desprenden, muy lógicamente, de su propia concepción del movimiento, concepción que muy claramente había expuesto en el *Mundo*. Y, de este modo, nos la aclaran.

Volvamos, pues, al *Mundo*. Como se recuerda, Descartes había expresamente asimilado allí, o incluso identificado, el *status* ontológico del movimiento al del reposo. Cosa que de inmediato nos había hecho comprender por qué el movimiento cartesiano —al contrario que el de Aristóteles— podía perdurar sin motor y sin causa. Pero toda equiparación y toda identificación pueden ser leídas en dos sentidos opuestos; así, habíamos asimilado el movimiento al reposo; ahora es necesario, a la inversa, asimilar el reposo al movimiento. Es necesario, pues —puesto que, según Descartes, el reposo tiene la misma *realidad* que el movimiento— no considerar ya al reposo como un estado simplemente negativo, como una ausencia de movimiento, movimiento infinitamente lento, etc., sino como un estado que posee una realidad, una potencia de acción y de reacción positiva. Así pues, no basta con decir que un cuerpo en reposo posee una cantidad de movimiento igual a cero. Hay que decir, además, que posee una cierta cantidad de *reposo* [440]. Si los cuerpos resisten y se oponen a su «puesta en movimiento» es precisamente gracias a esa cantidad de reposo que poseen.

En la física cartesiana, el movimiento es el principio de separación. Y viceversa, el reposo es el de unión y cohesión. Inclusive es el único principio de cohesión de esta física. Dos partes que se «entretocan» o que incluso simplemente están en reposo

---

[439] Véanse a este respecto, las perspicaces observaciones de Mouy, *op. cit.*, pp. 22 ss.

[440] La noción de reposo como realidad positiva, así como la de cantidad de reposo, se encuentran en Hasdai Crescas; cf. H. A. Wolfson, *Crescas' Critique of Aristotle*, Cambridge (Mass.), 1929, pp. 287 ss.

una con respecto a la otra, por este mismo hecho se encuentran ligadas; de tal forma que «para separarlas, por poco que sea, es necesaria alguna fuerza; pues una vez que están así colocadas nunca se les ocurriría por sí mismas ponerse de otro modo»[441]. Y el reposo relativo de las partes de un cuerpo es lo que forma su unidad e incluso su dureza, «pues ¿qué cola o qué cemento podría imaginarse —aparte de esto— para mantenerlas mejor unidas la una a la otra?...»[442].

Así pues, el reposo es una fuerza positiva. Los *Principios* nos lo dicen expresamente[443]. Pero ¿cuál es su magnitud o, para decirlo en el lenguaje cartesiano, su cantidad? Está claro —para Descartes al menos— que en un cuerpo dado es exactamente igual a la cantidad de movimiento que posee un cuerpo de *dimensiones iguales* que se mueve de una forma cualquiera con respecto al cuerpo en reposo. La cantidad de reposo es así, en cierto modo, una magnitud variable, que está, podríamos decir, en función de la velocidad del cuerpo en movimiento; consecuencia inevitable de la relatividad *física*, es decir *dinámica*, del movimiento. De aquí se deduce necesariamente que en una pareja de cuerpos que estén uno en reposo y otro en movimiento, las relaciones de las fuerzas de reposo y movimiento serán las mismas que las de sus dimensiones. Por eso, cuando Descartes nos dice que, sea cual fuere la velocidad de un cuerpo pequeño que golpea a uno grande, nunca podrá ponerlo en movimiento[444] —como bien se sabe, Galileo enseña, por el contrario, que, sea cual fuere el tamaño de un cuerpo en reposo, el cuerpo que lo golpea, por pequeño que sea, le confiere siempre un movimiento—, de ningún modo le induce a error el deseo de ajustarse a la experiencia (la bola que se lanza contra un muro rebota, mientras que, visiblemente, el muro no se mueve) —Descartes sabe perfectamente que el caso por él estudiado no se presenta *nunca* en la experiencia—, sino que saca una conclusión inevitable de la concepción del movimiento. Y del reposo.

---

[441] *Le monde*, p. 12.

[442] *Le monde*, p. 13.

[443] *Principes*, II, 43 (p. 88): «...hay que señalar que la fuerza con la que un cuerpo actúa contra otro cuerpo o resiste a su acción sólo consiste en que cada cosa persiste tanto como puede en permanecer en el mismo estado en que se encuentra, conforme a la primera ley que anteriormente ha sido expuesta... De modo que un cuerpo que está unido a otro cuerpo tiene cierta fuerza para impedir que se le separe de él; y cuando está separado de él tiene cierta fuerza para impedir que se le una; y también, cuando está en reposo, tiene fuerza para permanecer en este reposo y para resistir a todo lo que pudiera hacerlo cambiar.»

[444] *Principes*, II, 49 (p. 90): «... Por poco que el cuerpo C fuera mayor que el B y si estuviera totalmente en reposo... fuera cual fuere la velocidad a la que B pudiera llegar a él, jamás tendría fuerza para moverlo.»

¡Curiosa y extraña concepción! Sin duda. E incluso, si se quiere, desgraciada, ya que conduce a Descartes al error, y a la física cartesiana a un callejón sin salida. Y, sin embargo, aun en el error, ¡cuán íntegra sigue siendo la grandeza cartesiana! Porque la concepción cartesiana es una consecuencia, lógicamente inevitable, del pecado original —¡pero cuán fecundo!— del cartesianismo: la geometrización a ultranza. Y sólo a costa de una inconsecuencia —pecado infinitamente grave para un filósofo— habría podido evitar Descartes caer en el error.

Como hemos visto, el movimiento de los geómetras no es un movimiento real; y los «cuerpos» a los que anima tampoco son reales. Estrictamente hablando, esos cuerpos no están más «en reposo» que «en movimiento». Y esa es la razón última por la cual, al crear su mundo, es decir, al dar existencia real al espacio euclidiano, el Dios de Descartes se vio obligado a crear en él tanto reposo como movimiento.

INDICE DE MATERIAS

INDICE DE NOMBRES